Progettazione degli studi di registrazione:
fisica acustica ed elettroacustica

giovedì 17 Marzo 2016

dott. Donato Masci – acoustic designer & consultant

donatomasci@gmail.com

Scarica la presentazione:

www.studiosoundservice.com/didattica-eventi/

www.studiosoundservice.com

Portfolio

90+ recording and audio-video (post)production facilities
Lavori privati per artisti come *Andrea Bocelli, Eros Ramazzotti, Ligabue, Piero Pelù + Litfiba, Enrico Cremonesi, Mogol, Venditti, Marco Masini, Homo Sapiens, Planet Funk, Renato Zero.*
Progettazione di chiese, teatri, auditoria, sale conferenza, home-theater.

Tra i progetti più importanti si riportano:

- Barys Arena (ice hockey) @ Astana, Kazakhstan;
- Studi FOX post-produzione a/v @ Hammersmith, London (UK);
- Mulinetti Studio @ Genova (**Resolution Award 2015 — Best Audio Facility**, Nomination);
- The Garage @ Civitella v.d.C. (AR) (**Resolution Award 2014 — Best Audio Facility**, Nomination);
- House of Glass @ Viareggio (LU) (**Resolution Award 2013 — Best Audio Facility**, Nomination);
- PPG Studios (Andrea Bocelli) @ Santo Pietro Belvedere (PI);
- In House (sala mix cinema Dolby® approved) @ Roma;

  (sound design for “La Grande Bellezza” di Sorrentino, 2014 Oscar, HBO series Sorrentino 2016)
- George Lucas Home Theater, Italy;
- Chiesa di Santa Maria Nuova (Arch. Mario Botta) @ Terranuova Bracciolini (AR);
- Prada Auditorium and Conference Room via Orobia @ Milano;
- Sala Proiezioni Museo Ferrari @ Maranello (MO).

Il Fenomeno Sonoro

Sorgente Mezzo Ascoltatore

(zona di trasmissione)

1 2 3

Velocità del suono

La velocità del suono è la velocità con cui un suono si propaga in un certo ambiente, detto mezzo.
La velocità del suono varia a seconda del mezzo (ad esempio, il suono si propaga più velocemente nell'acqua che non nell'aria), e varia anche al variare delle proprietà del mezzo, specialmente con la sua temperatura.

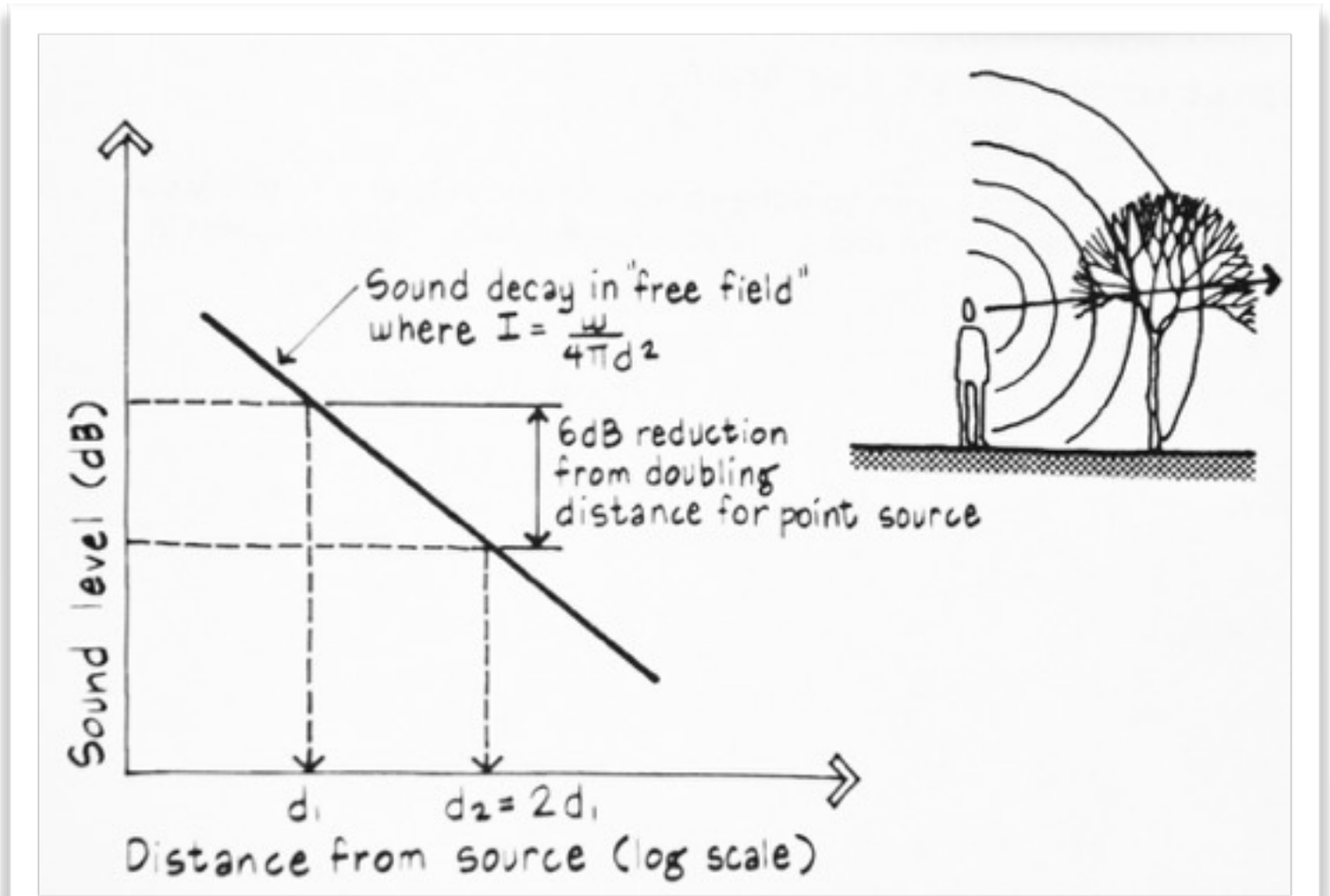
$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343}{\lambda}$$

Influenza della temperatura dell'aria sulla velocità del suono			
T in °C	*a* in m/s	*ρ* in kg/m³	*Z* in N·s/m³
−10	325,4	1,341	436,5
−5	328,5	1,316	432,4
0	331,5	1,293	428,3
+5	334,5	1,269	424,5
+10	337,5	1,247	420,7
+15	340,5	1,225	417,0
+20	343,4	1,204	413,5
+25	346,3	1,184	410,0
+30	349,2	1,164	406,6

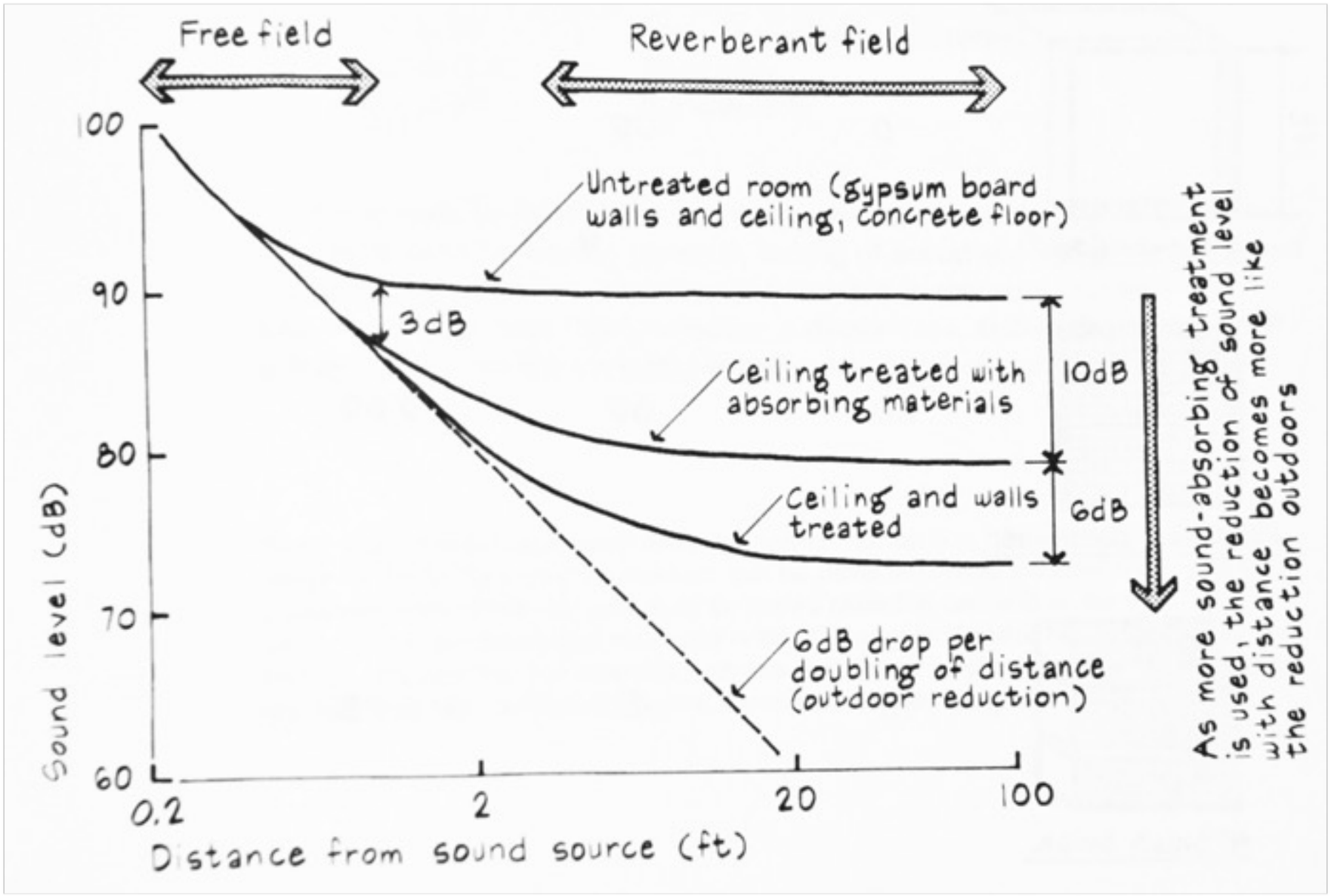
Materiali	Velocità del suono [m/s]
Aria	343
Acqua	1 480
Ghiaccio	3 200
Vetro	5 300
Acciaio	5 200
Piombo	1 200
Titanio	4 950
PVC (morbido)	80
PVC (duro)	1 700
Calcestruzzo	3 100
Faggio	3 300
Granito	6 200
Peridotite	7 700
Sabbia (asciutta)	10-300

Attenuazione del suono con la distanza in campo libero

In *campo libero* il suono decade di 6 dB per ogni raddoppio della distanza.



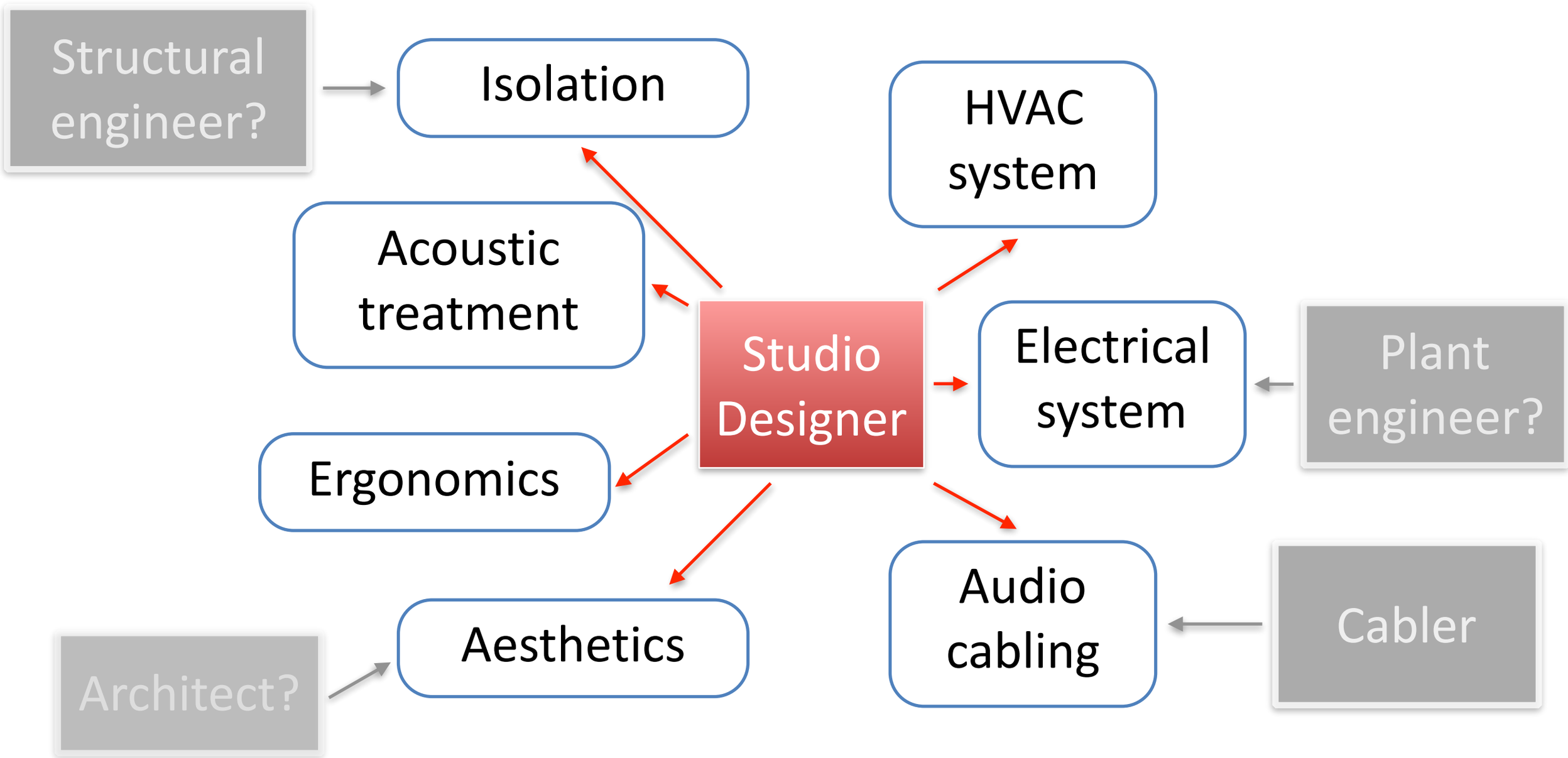
Attenuazione del suono con la distanza in un ambiente



Il decadimento del suono in un ambiente chiuso dipende dalle proprietà ***assorbenti***, ***riflettenti*** **e** ***diffondenti*** delle superfici che lo costituiscono.

(muri, pavimenti pareti, oggetti, persone etc)

Audio facility design



Studio Designer VS Acustico

Uno Studio Designer non è solo un consulente acustico!!!
Dev'essere esperto in:

- acustica;
- elettroacustica (in particolare studio monitors);
- audio/video production;
- music;
- estetica delle audio facility;
- ergonomia;
- impianti usati nelle audio facility;
- richieste e trend del mercato (musician, a/v post, producers, DJs, cinema).

Miti e Leggende sull'acustica degli studi

…vale per tutti gli ambienti piccoli

(la fisica è fortunatamente la stessa!!!)

Dopo alcune stimolanti conversazioni con Zenon Schoepe di Resolution, mi è venuta l'idea di fare una specie di compendio di queste opinioni e "credenze" e un'analisi statistica dei parametri acustici misurati negli studi in cui ho lavorato, tentando di dare una spiegazione tecnico-scientifica e di trarre delle conclusioni in merito, magari utili anche ad aprire un dibattito con i colleghi.

Così ho scritto i tre articoli: "Myths and facts about studio acoustics"

Resolution Magazine 2014 (Marzo, Aprile, Maggio/Giugno)

Miti e Leggende sull'acustica degli studi

In questa serie di articoli tenterò di trovare delle risposte, o quantomeno delle motivazioni, basandomi su osservazioni e criteri scientifici alle seguenti affermazioni ricorrenti:

1. non si può mixare/ascoltare bene in stanze troppo grandi, troppo piccole, col soffitto alto, col soffitto basso, ...: dove bisognerà mai mixare?!?
2. bastano dei "pannelli" per rendere una sala mix idonea per lavorare;
3. non mi piace l'ascolto col sub-woofer!!!;
4. alcune casse suonano "troppo" bene per poter essere utilizzate nel mix;
5. i big monitor sono utili soltanto per far sentire il mix ai clienti ad alto volume, non sono utili per mixare... mancano di definizione;
6. non voglio montare le casse a muro (flush mount) perché posso evitarlo e, così, sostituirle facilmente in futuro, inoltre se devo spostarle per un fine-tuning lo potrò fare;
7. i nearfield hanno molta più definizione;
8. l'auto-calibrazione non serve a niente se una sala è trattata bene;
9. il trattamento acustico non serve a niente se ho l'auto-calibrazione.

X passi per la progettazione acustica degli studi

I Scegliere gli spazi (dimensioni, porte e finestre, etc.)
II Isolamento acustico
III Listening point/area (modi della stanza)
IV Design acustico
V Posizionamento delle sorgenti (strumenti e casse)
VI Assorbimento acustico
VII Diffusione acustica
VIII Ergonomia
IX Estetica
X Elettronica – (auto)calibrazione

I Scegliere gli spazi

Altezza

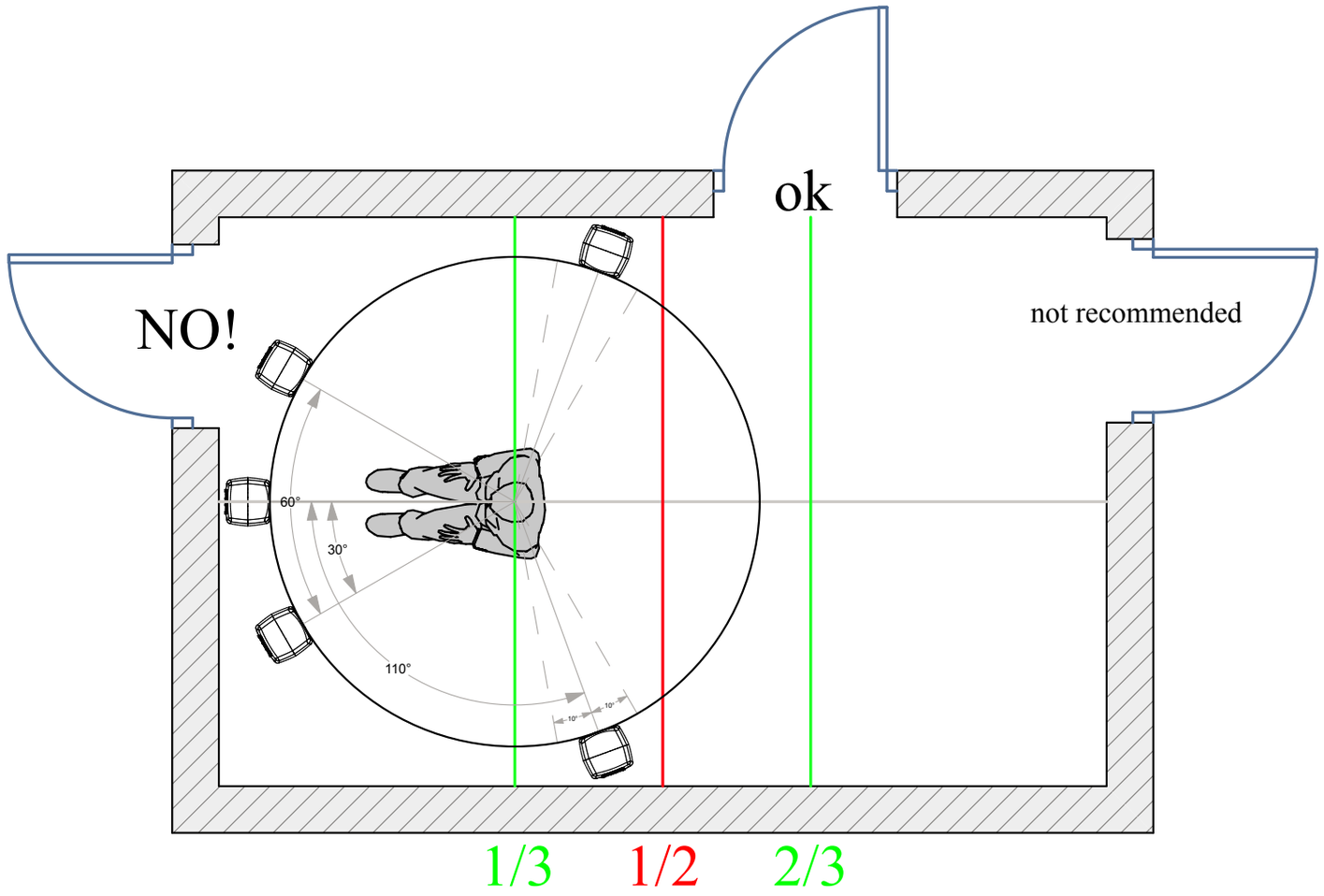
- una sala di 3m di altezza sarà dopo l'isolamento acustico 2.7m senza trattamento;
- se avete una sala di 2.4m di altezza, il punto d'ascolto sarà a metà (1.2m) ossia nella posizione peggiore;
- ci vogliono circa 40÷80 cm di trattamento acustico per avere risultati professionali.

Dimensioni

- si potrebbe scegliere una stanza dalle dimensioni "ottimali" (Bolt Area etc.) ma dopo un trattamento acustico questo non è così importante… e comunque…
- non usare sale quadrate o cubiche!!!
- una stanza più lunga è meglio di una più larga;
- per stanze piccole, non si pensi che abbassare il soffitto sia meglio per ricavarne delle dimensioni "ottimali"!

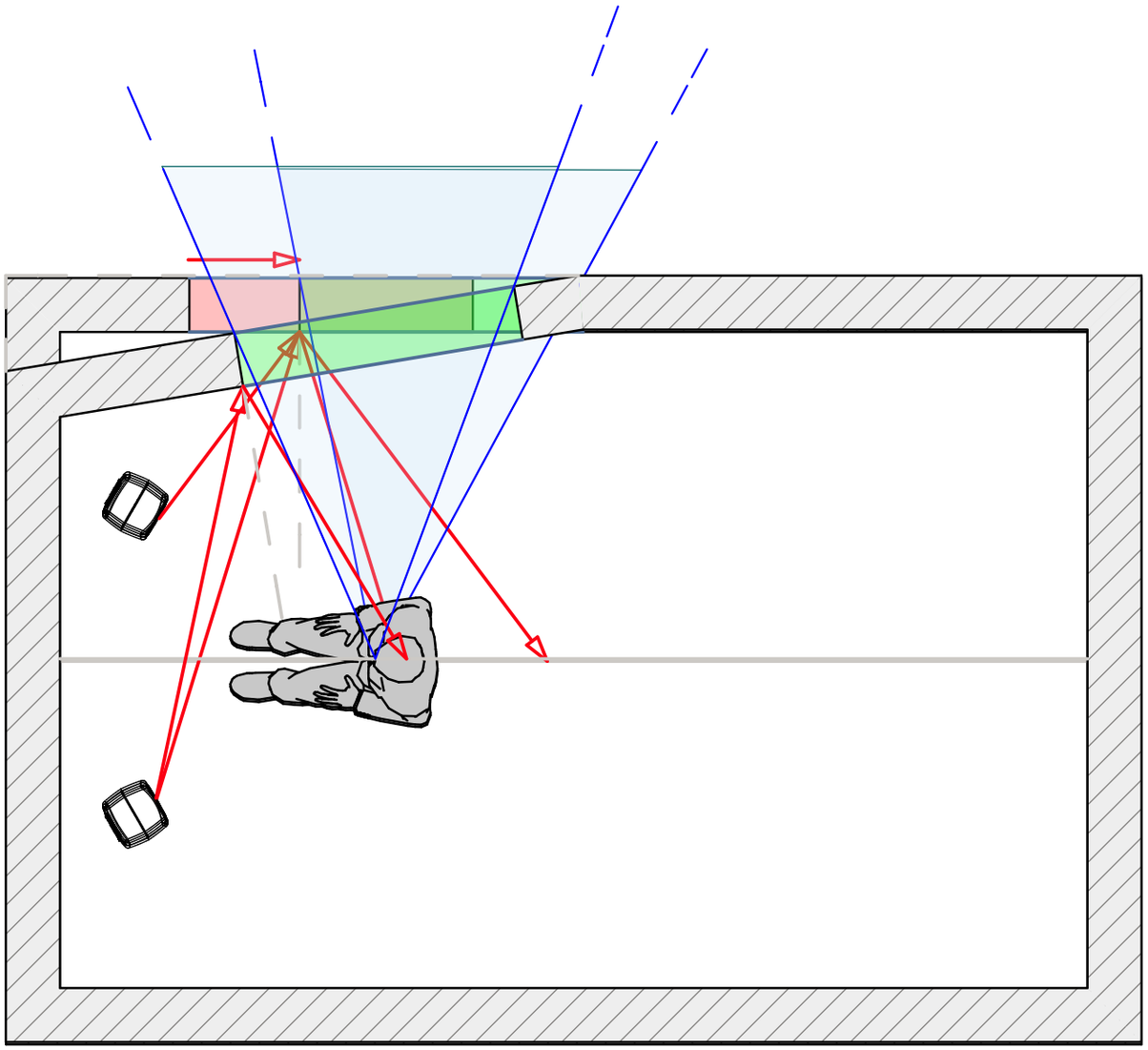
Porte

- non è conveniente piazzare le porte nel muro davanti (in particolare se la porta non è particolarmente massiccia);
- il miglior posto per posizionare la porta è sul lato dietro il sound engineer;
- si può avere una porta anche sul retro, se la sala non è troppo piccola.



Finestre/Visive

- è preferibile evitare la visiva sul muro frontale se si usa un sistema 5.1;
- se si vuole una visiva sul lato, vicino al fronte, l'unico modo è inclinare la parete laterale per indirizzare le riflessioni dietro al punto d'ascolto;
- please do not abuse of glass, we could arrange a correct reflection but it has a lot of problems especially on low frequencies.



Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

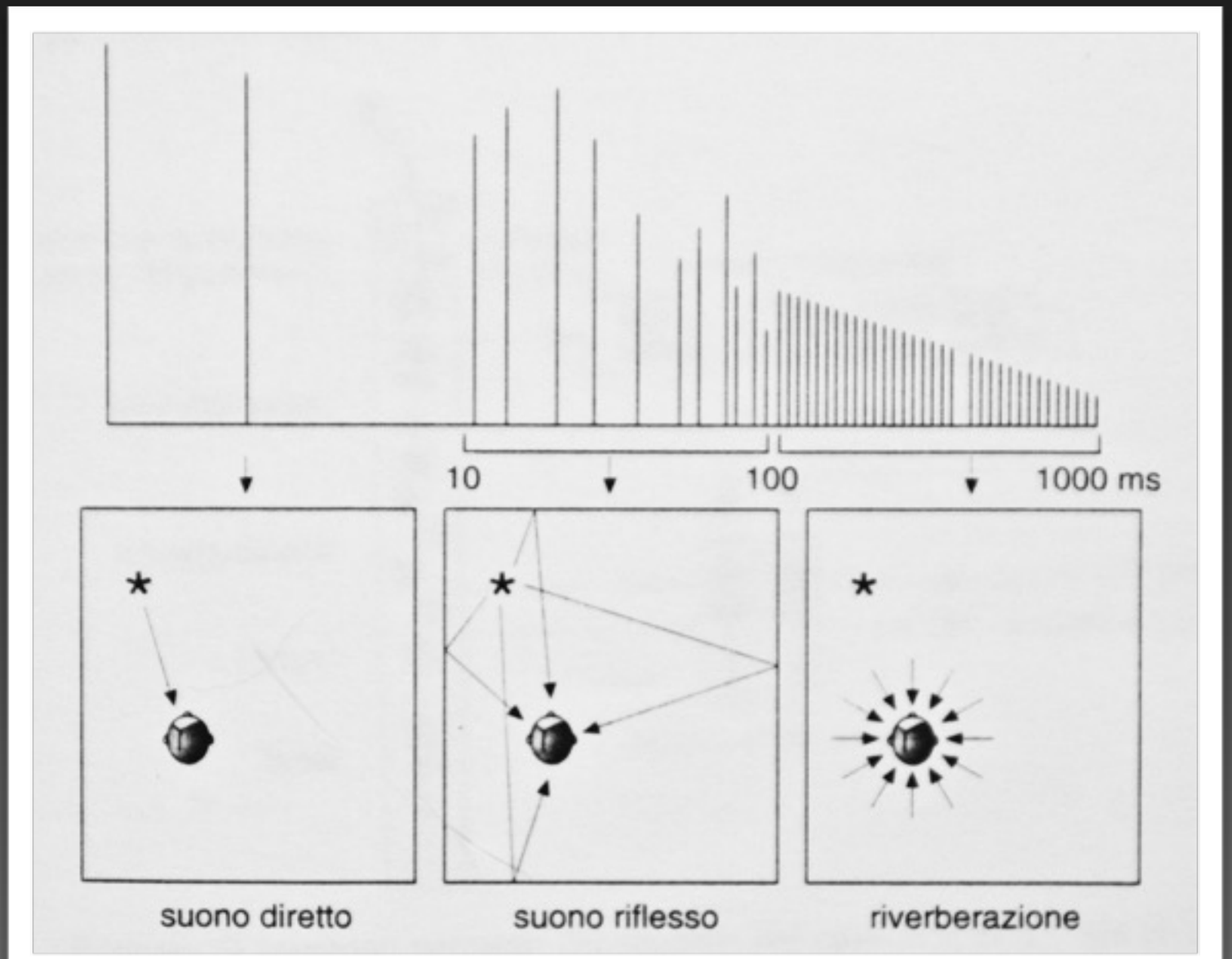
Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Suono in un ambiente chiuso



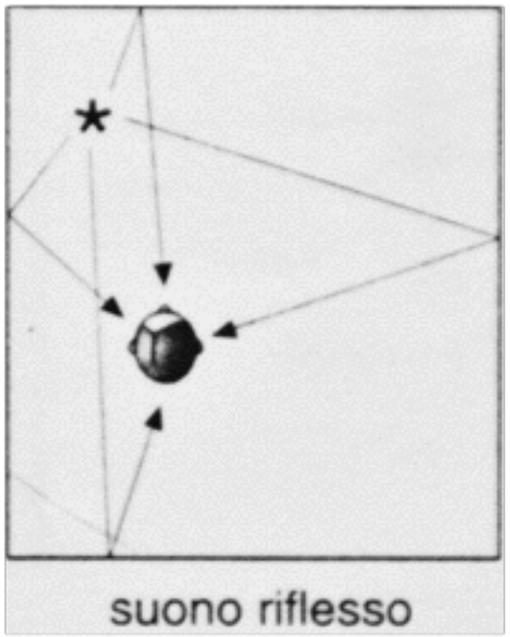
Suono diretto

Il **Suono diretto** trasmette informazioni relative a:

1. posizione della sorgente;
2. dimensione della sorgente;
3. vero timbro della sorgente.

L’ammontare di assorbimento che si verifica quando il suono viene riflesso da una superficie non è uguale a tutte le frequenze; perciò il timbro del suono riflesso è influenzato dalle caratteristiche della superficie che ha incontrato.

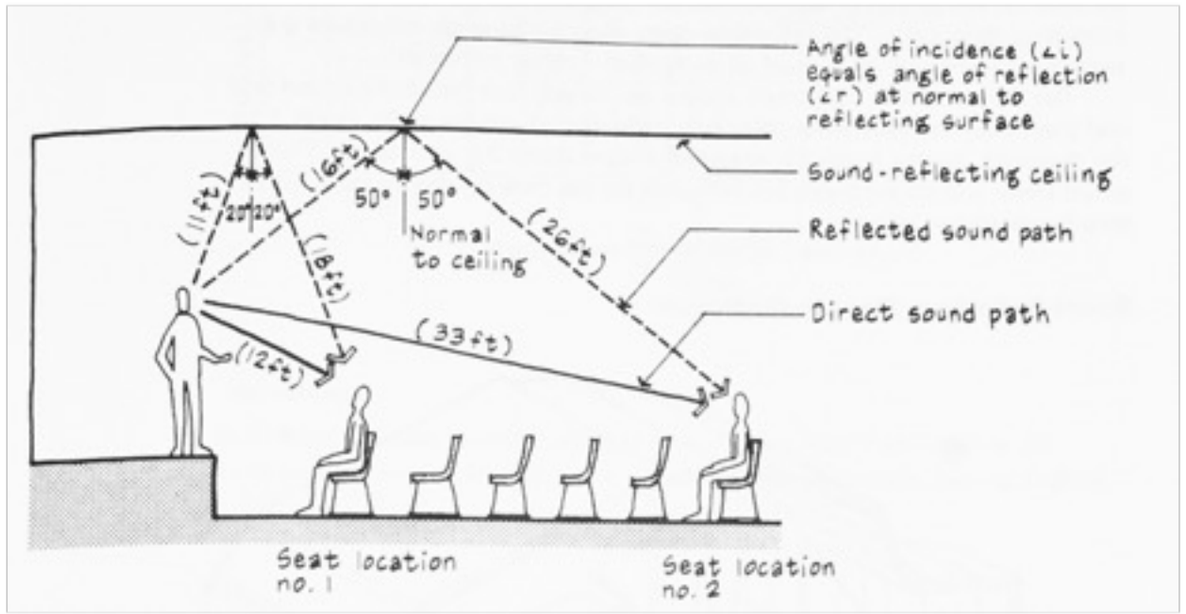
Prime Riflessioni



Le **Prime riflessioni** raggiungono l'orecchio entro 30÷80 millisecondi dal suono diretto: queste riflessioni sono il risultato di onde che hanno incontrato poche superfici prima di arrivare all'ascoltatore, e possono giungere da direzioni diverse rispetto al suono diretto.

L'**intervallo di tempo** che intercorre fra l'ascolto del suono diretto e l'inizio delle prime riflessioni fornisce informazioni sulla dimensione della stanza in cui si verifica l'evento sonoro: più lontane sono le superfici rispetto all'ascoltatore, maggiore sarà il tempo che il suono impiega per raggiungerle e per venire poi riflesso verso l'ascoltatore stesso.

Fusione Temporale



Le prime riflessioni che giungono all'orecchio umano entro 30÷80 millisecondi dal suono diretto, oltre a non risultare udibili, sono effettivamente **fuse con il suono diretto** stesso.

L'orecchio umano non riesce a distinguere separatamente suoni che si verificano molto ravvicinati nel tempo e considera le riflessioni come parte del suono diretto.
Il limite di tempo per la fusione temporale non è assoluto: dipende piuttosto dall'inviluppo del suono. La fusione si interrompe a 4 ms nel caso di transienti, anche se può arrivare fino a 80 ms nel caso di suoni che cambiano lentamente, come ad esempio il legato dei violini.

Nonostante le prime riflessioni siano soppresse e risultino amalgamate con il suono diretto, esse modificano la nostra percezione del suono, rendendolo più pieno e più intenso.

…dopo le prime riflessioni

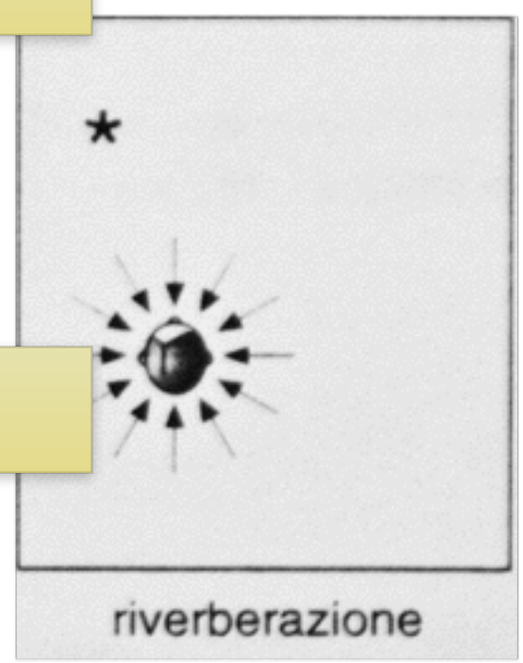
I suoni che raggiungono l’ascoltatore in un istante successivo a 30÷80 ms dopo il suono diretto, sono stati riflessi da un numero tale di superfici diverse che cominciano a raggiungere l’ascoltatore in un flusso virtualmente continuo e da tutte le direzioni.

Queste onde ravvicinate sono dette **riverberazione**: la riverberazione è caratterizzata da una diminuzione graduale di ampiezza e dal fatto che conferisce calore e corposità al suono; inoltre contribuisce anche alla sua intensità.

A causa delle molte riflessioni, il timbro della riverberazione è molto diverso rispetto al suono diretto, e la differenza principale è un taglio delle alte frequenze e una conseguente enfatizzazione delle basse.

Il fenomeno chiave dell'acustica ambientale è la riverberazione ossia

Riverberazione



Persistenza del suono dopo che la sorgente sonora ha cessato di vibrare.

È causata dalla riflessione continuata delle onde sonore sulle superfici dell'ambiente in cui si propagano.

in un semplice modello del fenomeno l'intensità del suono riverberato si riduce in ugual misura ad ogni riflessione da cui risulta un andamento esponenziale decrescente nel tempo

ono viene ridotta di un fattore *x<1*, dopo N riflessioni ri

dove τ = –ΔT / log(x) è un tempo caratteristico dell'ambiente, che dipende dalla sua geometria e dai materiali con cui sono rivestite le sue superfici.

$$I = I_0 x^{t/\Delta T} = I_0 e^{-t/\tau}$$

andamento esponenziale decrescente

Tempo di riverberazione ottimale

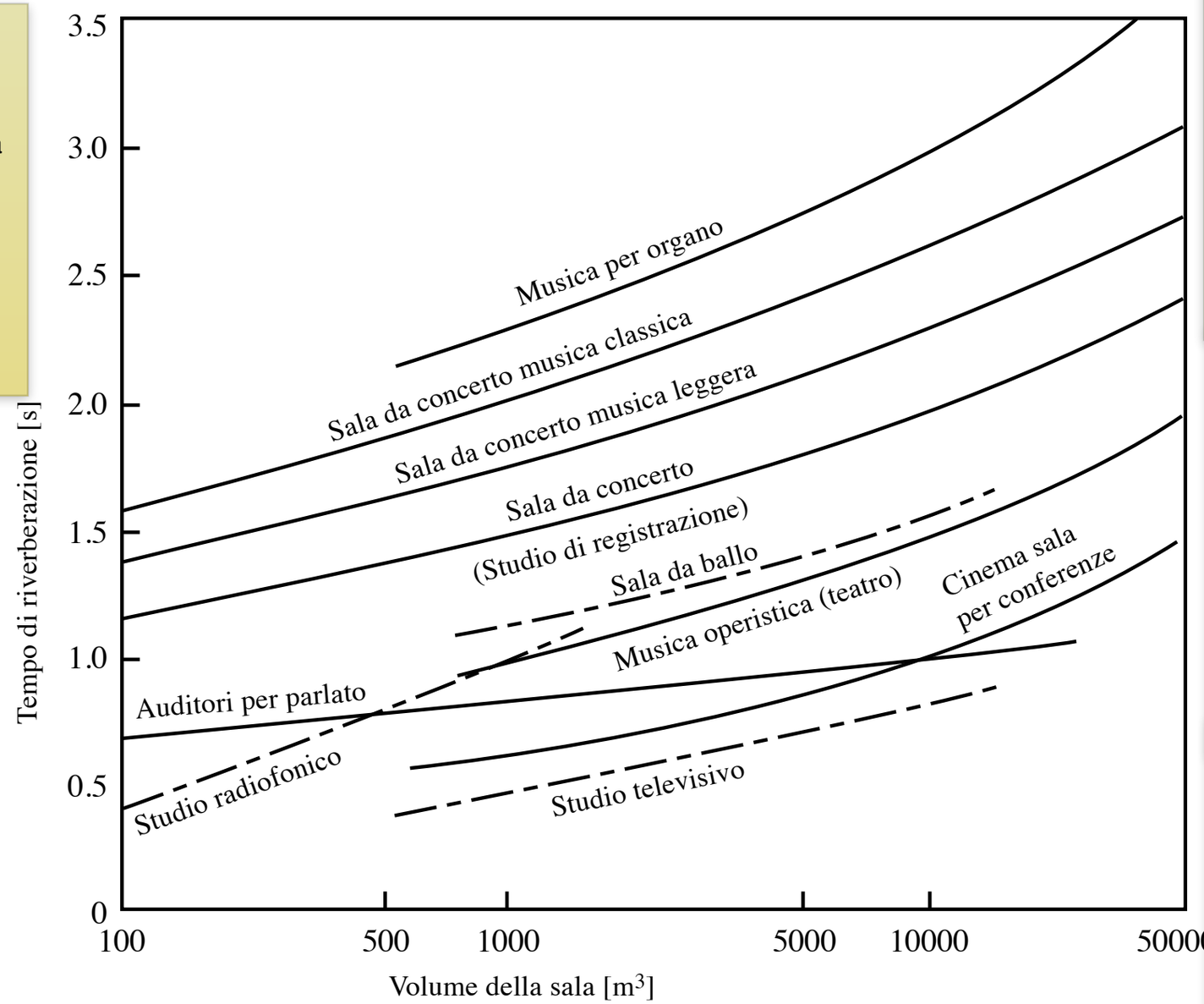
Per la migliore intelligibilità si deve avere nel punto di ascolto un'intensità sonora sufficiente ed una dispersione temporale non eccessiva del suono emesso dalla sorgente

RIVERBERAZIONE: ruolo duplice

(+) innalza l'intensità sonora rispetto a quella del suono diretto;
(-) aumenta la dispersione temporale, incidendo negativamente sulla comprensione delle note e dei fonemi.

Il tempo di riverberazione deve assumere un valore ottimale in modo da offrire il miglior compromesso possibile.

si è rilevato che mediamente gli ascoltatori preferiscono livelli diversi di riverberazione a seconda della grandezza della sala e del tipo di performance.



D'altra parte, l'organo uditivo umano, per ambienti più grandi, accetta un lieve peggioramento dell'intelligibilità in favore del livello sonoro

La sensazione oggettiva di maggiore vastità dell'ambiente che viene spontaneamente associata ad una coda sonora più lunga è in generale considerata gradevole dagli ascoltatori, tanto che il riv è uno degli effetti più comuni

Inoltre il tempo di riverberazione ottimale degli ambienti dedicati ad attività musicali è superiore a quello degli ambienti adibiti al parlato

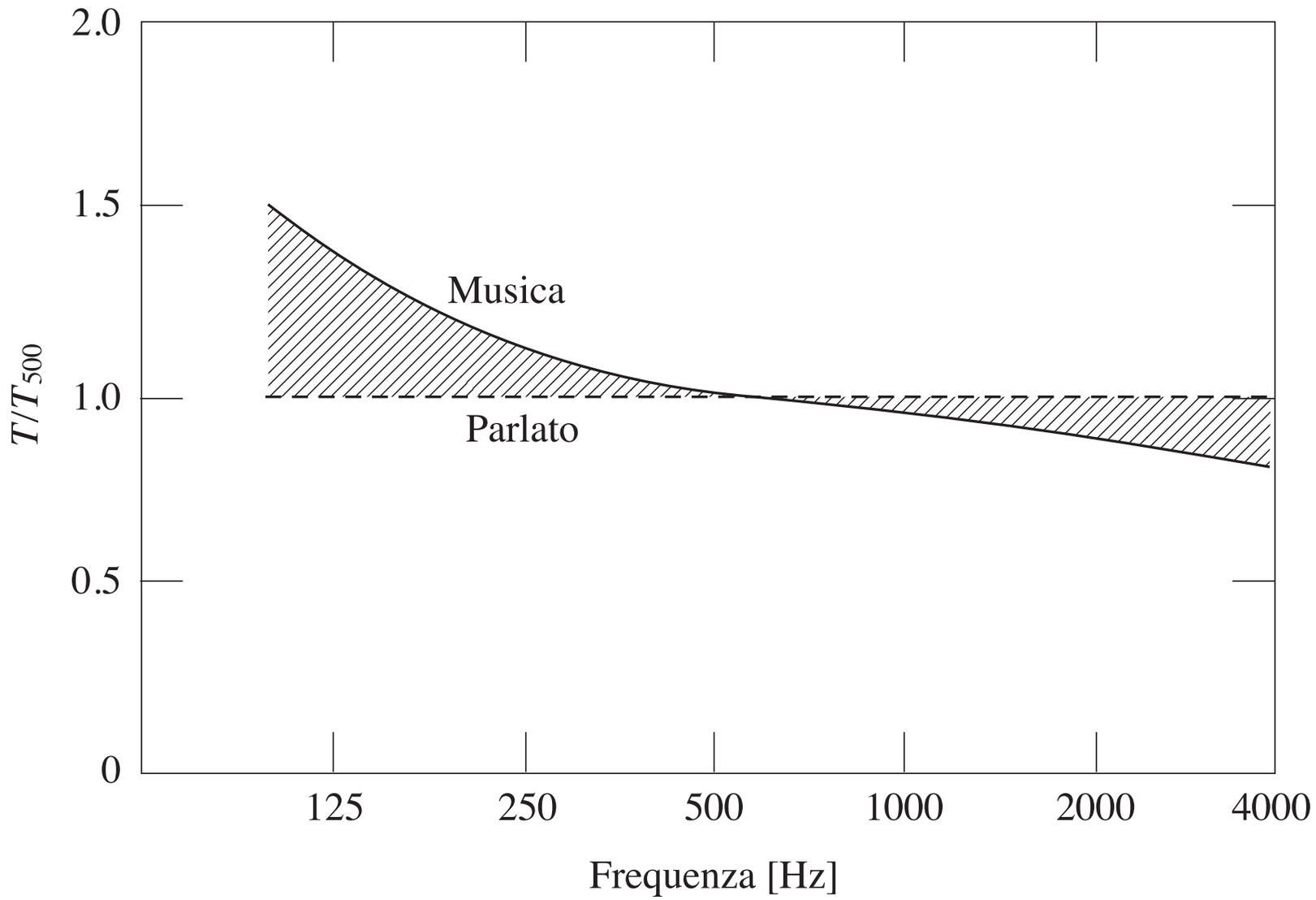
il valore ottimale cresce all'aumentare del volume della sala per una determinata destinazione d'uso:

formule empiriche
(V in m^3)

$$\mathrm{RT60}_{parlato} = 0.1\ V^{1/3}$$

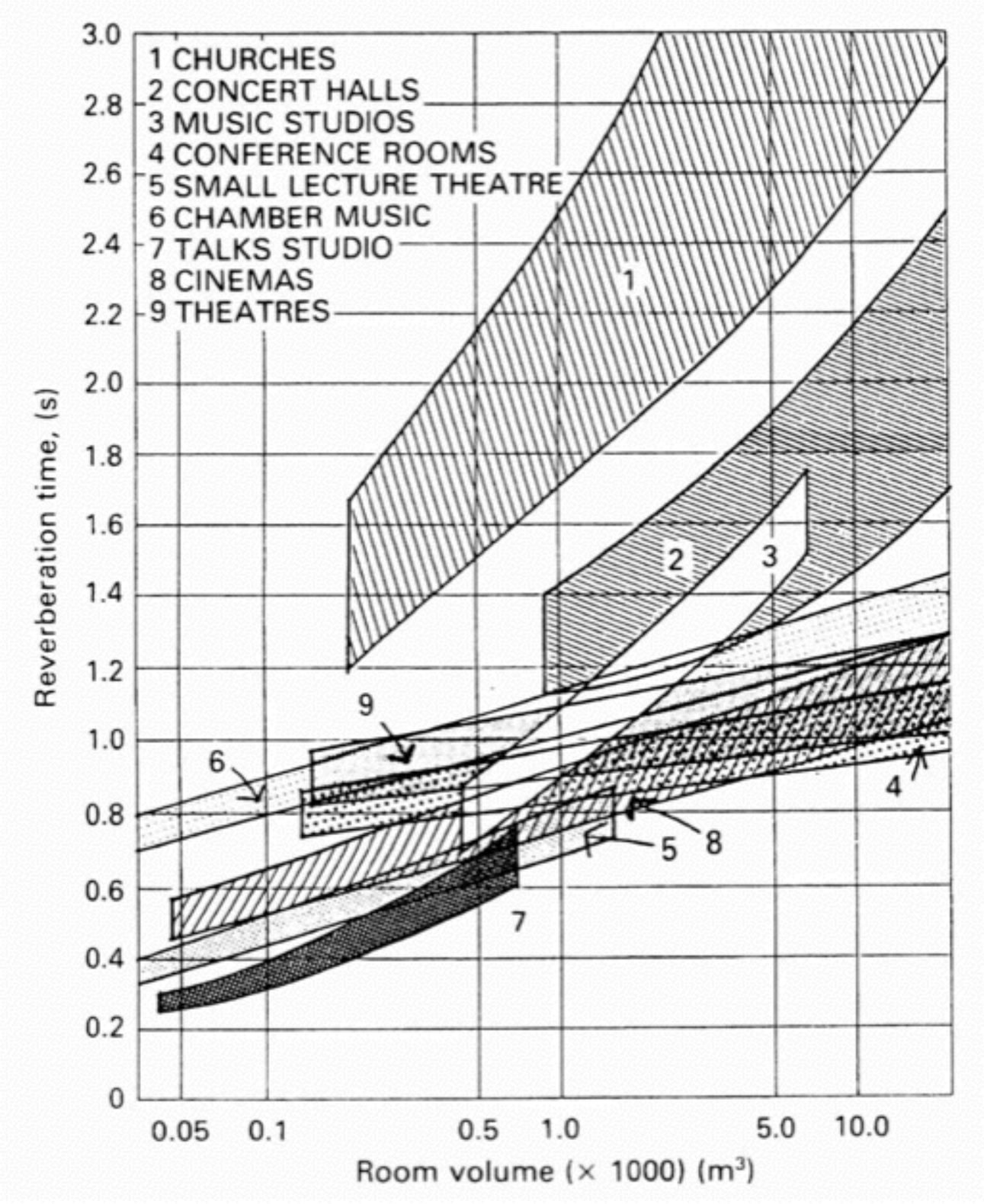
$$\mathrm{RT60}_{musica} = 0.5 + 10^{-4}\ V$$

andamento del tempo di riverberazione ottimale in funzione della frequenza:



il tempo di riverberazione ottimale alle frequenze più basse può quasi raddoppiare rispetto al valore corrispondente a 500 Hz

si è rilevato che mediamente gli ascoltatori preferiscono livelli diversi di riverberazione a seconda della grandezza della sala e del tipo di performance.



D'altra parte, l'organo uditivo umano, per ambienti più grandi, accetta un lieve peggioramento dell'intelligibilità in favore del livello sonoro

La sensazione oggettiva di maggiore vastità dell'ambiente che viene spontaneamente associata ad una coda sonora più lunga è in generale considerata gradevole dagli ascoltatori, tanto che il riv è uno degli effetti più comuni

Inoltre il tempo di riverberazione ottimale degli ambienti dedicati ad attività musicali è superiore a quello degli ambienti adibiti al parlato

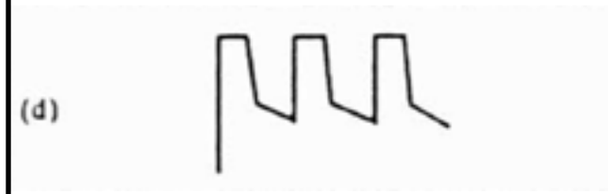
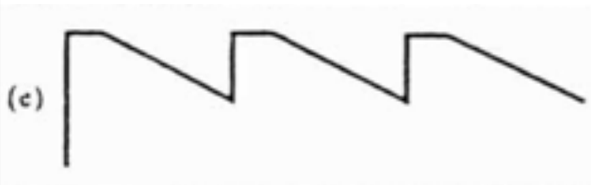
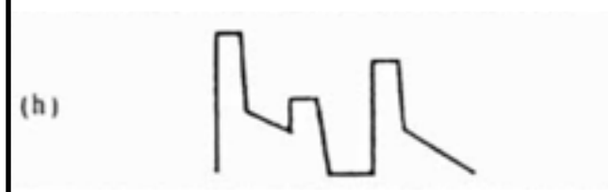
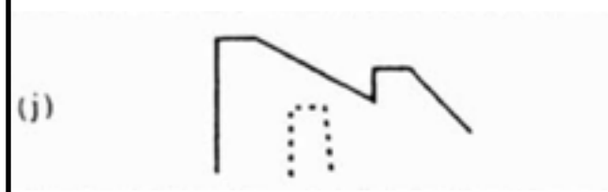
Valori di RT60 relativi a importanti sale acusticamente efficienti

qui mostriamo i tempi di riverberazione a varie frequenze di alcune tra le più importanti sale da concerto

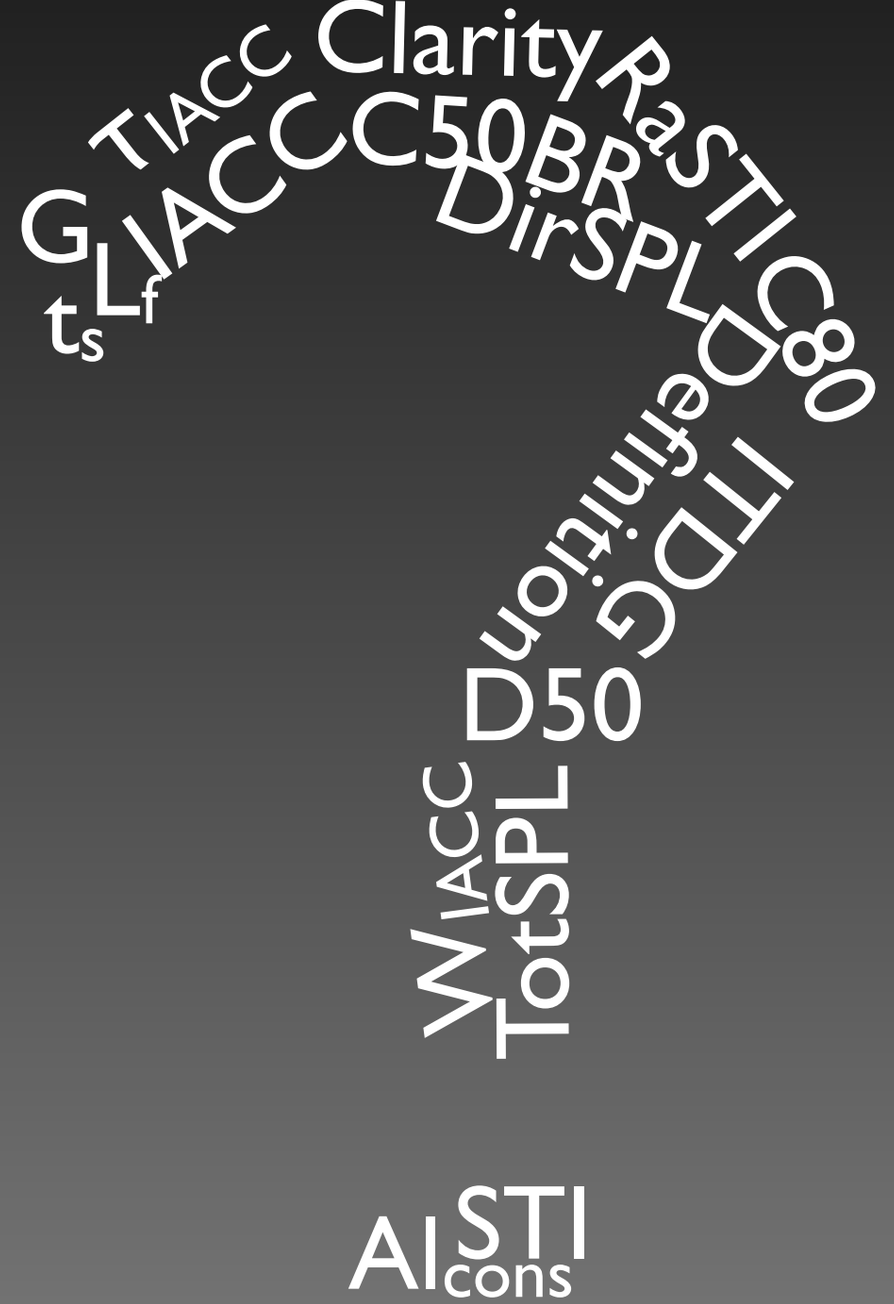
è da notare che i valori di RT60 delle ultime due sale che sono adibiti a musica lirica sono più bassi

Sala	$V/10^3$ [m^3]	$S/10^3$ [m^2]	Tempo di riverber. [s] a varie frequenze [Hz] 125	250	500	1000	2000	4000	Prima riflessione [ms]	Posti
Gerusalemme, Binyanei Ha'uman	24.7	2.4	2.2	2.0	1.75	1.75	1.65	1.5	13-26	3100
New York, Carnegie Hall (pre-rest.)	24.3	2.0	1.8	1.8	1.8	1.6	1.6	1.4	16-23	2800
Boston, Symphony Hall	18.7	1.6	2.2	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	7-15	2600
Amsterdam, Concertgebouw	18.7	1.3	2.2	2.2	2.1	1.9	1.8	1.6	9-21	2200
Glasgow, St. Andrew's Hall	16.1	1.4	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8	1.5	8-20	2100
Philadelphia, Academy of Music	15.7	1.7	1.4	1.7	1.45	1.35	1.25	1.15	10-19	3000
Bristol, Colston Hall	13.5	1.3	1.85	1.7	1.7	1.7	1.6	1.35	6-14	2200
Bruxelles, Palais des Beaux Arts	12.5	1.5	1.9	1.75	1.5	1.35	1.25	1.1	4-23	2200
Göteborg, Konzerthus	11.9	1.0	1.9	1.7	1.7	1.7	1.55	1.45	22-23	1400
Lipsia, Neues Gewandhaus	10.6	1.0	1.5	1.6	1.55	1.55	1.35	1.2	6-8	1600
Basilea, Stadt–Casino	10.5	0.9	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	6-16	1400
Cambridge (Mass.), Kresge Auditorium	10.0	1.0	1.65	1.55	1.5	1.45	1.35	1.25	10-15	1200
Buenos Aires, Teatro Colon	20.6	2.1	—	—	1.7	—	—	—	13-19	2800
New York, Metropolitan Opera	19.5	2.6	1.8	1.5	1.3	1.1	1.0	0.9	18-22	2800
Milano, Teatro alla Scala	11.2	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	12-15	2500

Fig. 1.3. Tempi di riverberazione alle varie frequenze di alcune sale da concerto (da KINSLER, *Fundamentals of Acoustics* 4^a ed.).

	Condizioni acustiche		Note suonate lentamente		Note suonate velocemente	
	Tempo di riverberazione	Rapporto tra Loudness: suono diretto vs. suono riverberante	Risultato acustico-musicale	definizione e pienezza dei toni	Risultato acustico-musicale	definizione e pienezza dei toni
Toni alla stessa loudness	corto	grande		Alta definizione irrilevante pienezza dei toni		Alta definizione irrilevante pienezza dei toni
	lungo	medio		Alta definizione una piccola pienezza dei toni		Alta definizione una piccola pienezza dei toni
	lungo	piccolo		Media definizione alta pienezza dei toni		Bassa definizione alta pienezza dei toni
Toni a diverse loudness	lungo	medio		Alta definizione una piccola pienezza dei toni		Alta definizione una piccola pienezza dei toni
	lungo	piccolo		Bassa definizione alta pienezza dei toni		Molto bassa definizione alta pienezza dei toni

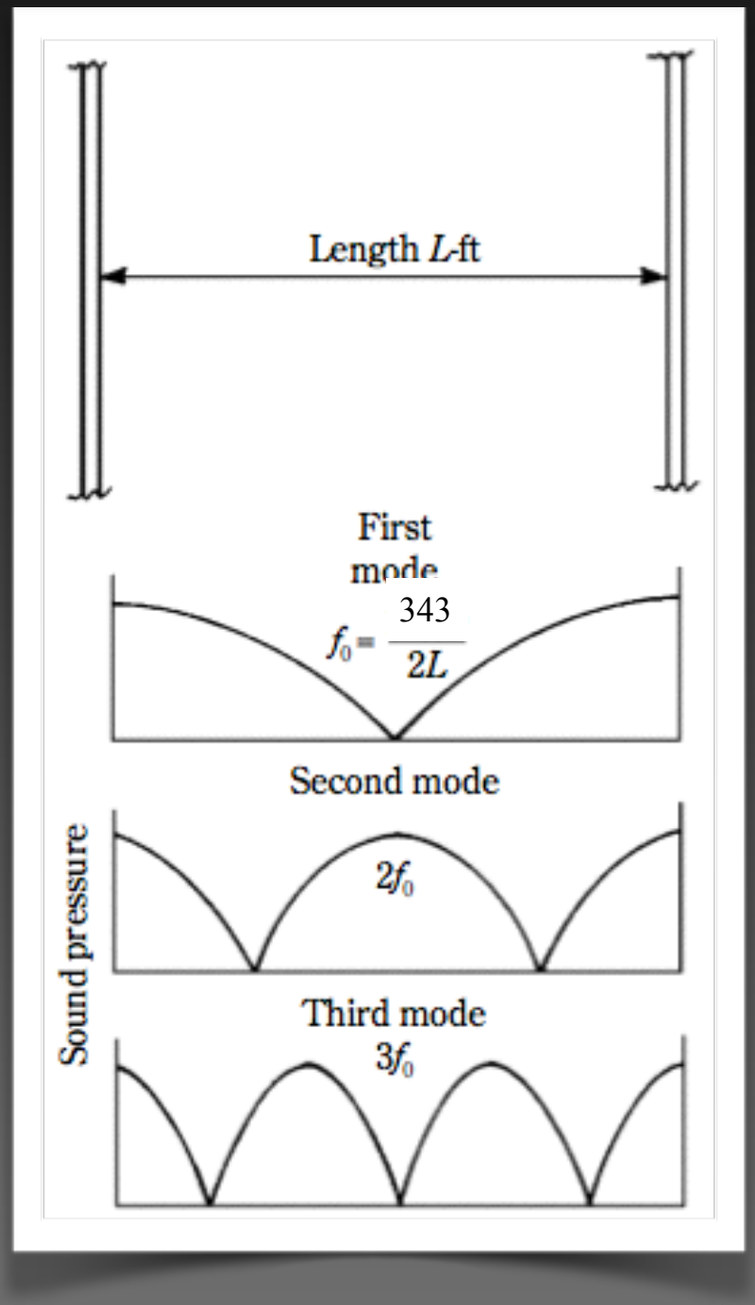
Altri parametri acustici



Altri parametri acustici

Attributo Soggettivo	Criterio di misura oggettiva	Parametri utilizzati
Chiarezza e trasparenza armonica	Rapporto tra energia vicina e lontana dal suono diretto	Criteri energetici (C80, C50, D50, t_s, G)
Riverberazione	Decadimento dell'energia sonora	Tempi di riveberazione (T30, T20, T10, EDT)
Spazialità del campo acustico	Energia Laterale, dissimilarità dei segnali alle due orecchie	Spazialità mono e binaurale(IACC, L_f, ASW, LEV, W_{IACC}, τ_{IACC})
Intimità	Distanza, ritardo della prima riflessione e livello sonoro	Tempo di ritardo iniziale (ITDG)
Loudness	Livello sonoro	Livelli sonori e rinforzo sonoro (G, DirSPL, TotSPL, D/R ratio)
Calore	Relazione tra riverberazione alle frequenze gravi e medie	Bass Ratio (BR)
Intelligibilità	Intelligibilità e comprensione del parlato	Parametri di intelligibilità (STI, RaSTI, ALcons)

Risonanze modali e onde stazionarie



Onde Stazionarie

Un' onda stazionaria è una perturbazione periodica di un mezzo materiale, le cui oscillazioni sono limitate nello spazio. In pratica non c'è propagazione nello spazio.

Le onde stazionare sono il risultato dell'interferenza tra onde progressive e regressive sinusoidali, aventi la stessa frequenza.

Una caratteristica delle onde stazionarie è che ad esse non è associato alcun trasporto di energia.

Divisione spettr

REGIONE X: non c'è rinf

REGIONE A: modi normali (onde acustiche - *wave acoustics*)

REGIONE B: fenomeni di diffrazione e diffusione (regione transizione)

REGIONE C: riflessione speculare (raggi acustici - *ray acoustics*)

Le risonanze modali aumentano di numero andando dalla regione A attraverso la B fino alla regione C, mentre non sono presenti nella regione X; ciò non significa che il suono a frequenze inferiori a 344/2L non esista nel locale in esame; semplicemente non ha rinforzo modale. Un altro modo per descrivere la situazione è dire che la risposta della stanza sarà relativamente povera in questa regione.

| X | A | B | C |

20 Hz

$$f_{XA} = \frac{343}{2L}$$

modo più basso

$$f_{AB} = 1905 \cdot \sqrt{\frac{T}{V}}$$

T il tempo di riverberazione in secondi
V il volume del locale in metri cubi

$$f_{BC} = 4 f_{AB}$$

20 kHz

Dualismo onda-particella

Il dualismo onda-particella è il concetto che ogni particella elementare o quanto manifesta le proprietà delle particelle, ma anche delle onde. Esso affronta l'incapacità dei concetti classici di "particella" e di "onda" di descrivere pienamente il comportamento degli oggetti quantistici.

Questo potrebbe essere utilizzato anche in room acoustics, basta confrontare la lunghezza d'onda delle onde con le dimensioni della superficie o nella sala con cui interagiscono. Se sono circa la stessa dimensione sono come onde, se sono meno di 1/4, sono come particelle, o meglio, i raggi.

Esempio stanza

L 6.7 x W 5.5 x H 4.3 m

T = 0.5 s

Regione X : da 0 a 26 Hz

Regione A : da 26 a 107 Hz

Regione B : da 107 a 428 Hz

Regione C : da 428 a 20000 Hz.

$$f_{XA} = \frac{c}{2\lambda} = \frac{343\ [\mathrm{m/s}]}{6.7 \cdot 2\ [\mathrm{m}]} \simeq 26\mathrm{Hz}$$

$$f_{AB} = 1905 \cdot \sqrt{\frac{T}{V}} = 1905 \cdot \sqrt{\frac{0.5}{6.7 \times 5.5 \times 4.3}} \simeq 107\mathrm{Hz}$$

$$f_{BC} = 4 f_{AB} = 107 \times 4 = 428\mathrm{Hz}$$

...ricordarsi...

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{343}{\lambda}$$

Effetto della misura del locale

- riducendo il volume del locale, aumenta il limite inferiore della regione A e quindi si impoverisce la risposta dell'ambiente alle basse frequenze
- più il locale è piccolo, più è ampia la porzione dello spettro udibile dominata dalle risonanze modali
  - in tal caso le frequenze di risonanza risulteranno sempre più spaziate causando irregolarità nella risposta della stanza ed un aumento della colorazione del suono

Wave Acoustics

Ogni locale può essere modellizzato come un risonatore acustico complesso, avente un infinito numero di modi di vibrazione, ciascuno con una ben precisa frequenza di risonanza: ogniqualvolta una di queste frequenze viene prodotta all'interno del locale, ne risulterà una corrispondente onda stazionaria.

E` dimostrabile che l'aria racchiusa in una stanza rettangolare possiede un infinito numero di modi normali di vibrazione. Le frequenze alle quali occorrono sono date dall'equazione:

$$f = \frac{c}{2}\sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2 + \left(\frac{q}{W}\right)^2 + \left(\frac{r}{H}\right)^2}$$

c	la velocità del suono, 344 m/s
L	la lunghezza del locale in metri
W	la larghezza del locale in metri
H	l'altezza del locale in metri
p,q,r	gli interi 0,1,2,3...n

Le control rooms degli studi di registrazione professionali spesso hanno una struttura esterna pesante, realizzata in calcestruzzo, tale da attuare un soddisfacente controllo per la bassa frequenza, ed una struttura interna più leggera, sostanzialmente trasparente alle basse frequenze, adatta a fornire la desiderata figura di riflessione per le componenti di alta frequenza. L'analisi modale è appunto legata alle dimensioni della struttura esterna.

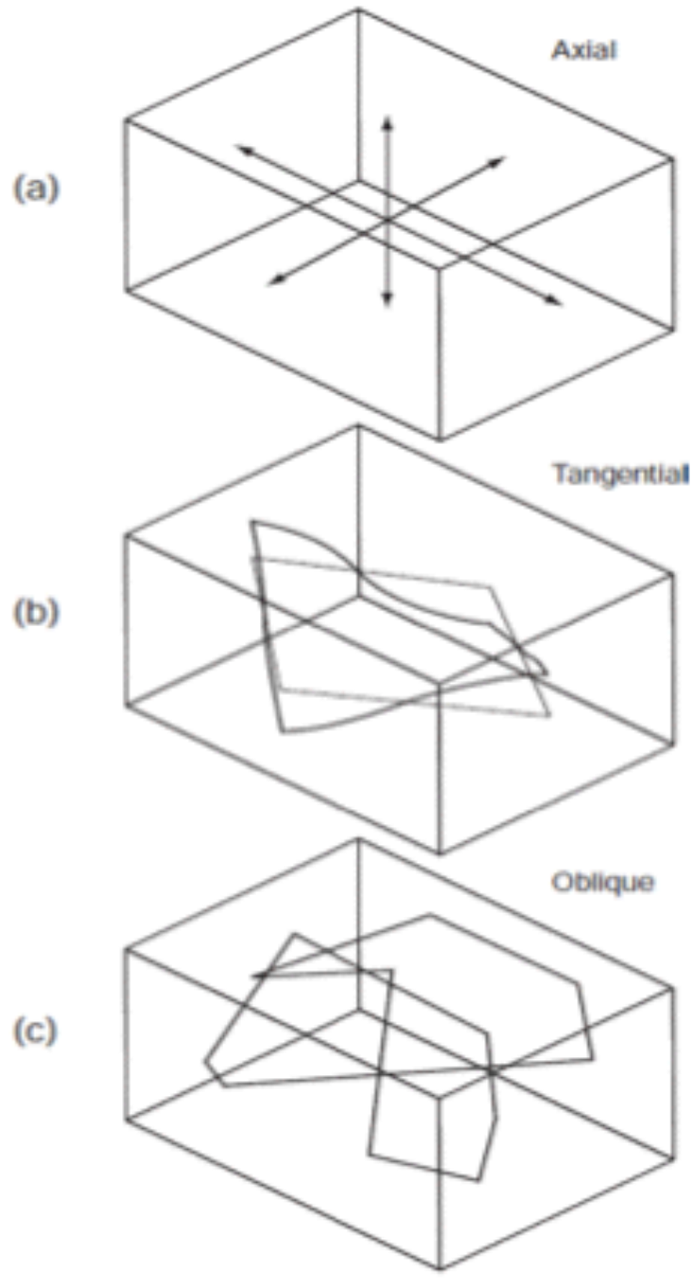
Analisi Modale

Si calcolano le frequenze modali basandoci sulle dimensioni delle pareti rigide del locale

Uso di un programma di calcolo che sostituisca valori crescenti agli indici p,q,r, in sequenza

ordini i risultati dalla frequenza più piccola alla più grande

numeri i modi e ne descriva il tipo contando il numero di zeri presenti negli indici p,q,r



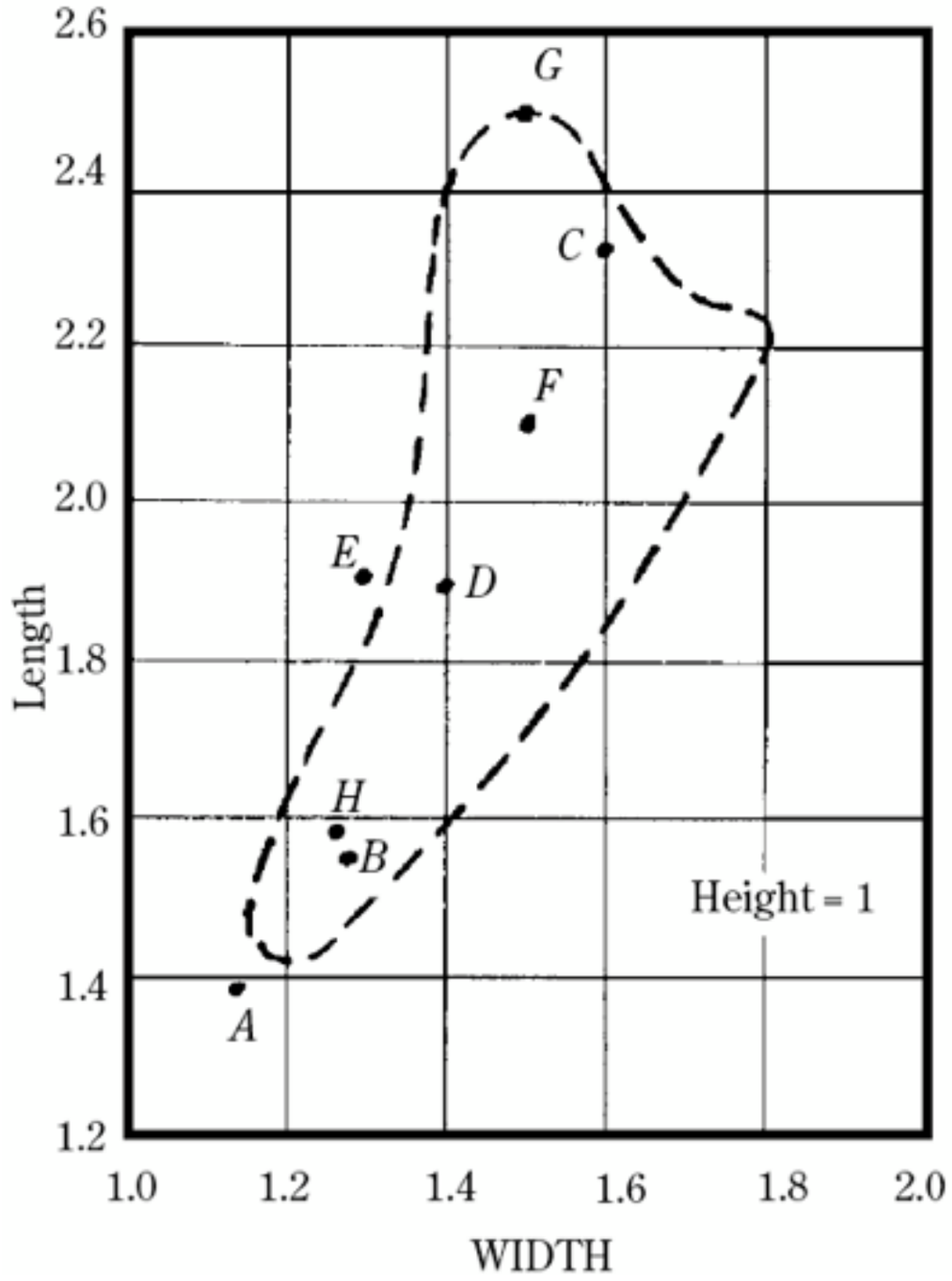
```
--------------------------------------------------
Calcolo delle Risonanze Modali in stanze rettangolari
--------------------------------------------------

DIMENSIONI DEL LOCALE IN METRI
Lunghezza  : 9.1
Larghezza  : 7.6
Altezza    : 5.9
==================================> Volume      408.04 [m^3]
                                    Proporzioni 1:1.29:1.54
Indici Modali da valutare: 0..4
==================================> Modi  : 125
```

Modo	Frequenza	Angoli xyz		Rifl.	p	q	r	Tipo
1	18.901	0.0	90.0	90.0	1	0	0	A
2	22.632	90.0	0.0	90.0	0	1	0	A
3	29.153	90.0	90.0	0.0	0	0	1	A
4	29.486	50.1	39.9	90.0	1	1	0	T
5	34.744	57.0	90.0	33.0	1	0	1	T
6	36.906	90.0	52.2	37.8	0	1	1	T
7	37.802	0.0	90.0	90.0	2	0	0	A
8	41.465	62.9	56.9	45.3	1	1	1	O
9	44.059	30.9	59.1	90.0	2	1	0	T
10	45.263	90.0	0.0	90.0	0	2	0	A
11	47.738	37.6	90.0	52.4	2	0	1	T
12	49.051	67.3	22.7	90.0	1	2	0	T
13	52.831	44.3	64.6	56.5	2	1	1	O
14	53.839	90.0	32.8	57.2	0	2	1	T
15	56.703	0.0	90.0	90.0	3	0	0	A
16	57.060	70.7	37.5	59.3	1	2	1	O
17	58.305	90.0	90.0	0.0	0	0	2	A
18	58.973	50.1	39.9	90.0	2	2	0	T
19	61.053	21.8	68.2	90.0	3	1	0	T
20	61.292	72.0	90.0	18.0	1	0	2	T
21	62.543	90.0	68.8	21.2	0	1	2	T
22	63.758	27.2	90.0	62.8	3	0	1	T
23	65.337	73.2	69.7	26.8	1	1	2	O
24	65.785	54.9	46.5	63.7	2	2	1	O
25	67.656	33.1	70.5	64.5	3	1	1	O
26	67.895	90.0	0.0	90.0	0	3	0	A
27	69.487	57.0	90.0	33.0	2	0	2	T
28	70.477	74.4	15.6	90.0	1	3	0	T
29	72.554	38.6	51.4	90.0	3	2	0	T
30	73.080	58.9	72.0	37.1	2	1	2	O
31	73.812	90.0	52.2	37.8	0	2	2	T
32	73.889	90.0	23.2	66.8	0	3	1	T
33	75.604	0.0	90.0	90.0	4	0	0	A
34	76.194	75.6	53.6	40.1	1	2	2	O
35	76.268	75.7	27.1	67.5	1	3	1	O
36	77.709	60.9	29.1	90.0	2	3	0	T
37	78.191	43.5	54.6	68.1	3	2	1	O
38	78.919	16.7	73.3	90.0	4	1	0	T
39	81.030	21.1	90.0	68.9	4	0	1	T
40	81.331	45.8	90.0	44.2	3	0	2	T
41	82.929	62.9	56.9	45.3	2	2	2	O
42	82.997	62.9	35.1	69.4	2	3	1	O
43	84.131	26.0	74.4	69.7	4	1	1	O
44	84.421	47.8	74.5	46.3	3	1	2	O
45	87.458	90.0	90.0	0.0	0	0	3	A
46	88.118	30.9	59.1	90.0	4	2	0	T
47	88.459	50.1	39.9	90.0	3	3	0	T
48	89.477	77.8	90.0	12.2	1	0	3	T
49	89.494	90.0	40.7	49.3	0	3	2	T
50	90.338	90.0	75.5	14.5	0	1	3	T
51	90.526	90.0	0.0	90.0	0	4	0	A
52	91.468	78.1	42.1	50.4	1	3	2	O
53	92.295	78.2	75.8	18.6	1	1	3	O
54	92.478	78.2	11.8	90.0	1	4	0	T
55	92.815	35.5	60.8	71.7	4	2	1	O
56	93.078	52.5	60.9	51.2	3	2	2	O
57	93.139	52.5	43.2	71.8	3	3	1	O
58	95.105	90.0	17.9	72.1	0	4	1	T
59	95.278	66.6	90.0	23.4	2	0	3	T
60	95.475	37.6	90.0	52.4	4	0	2	T
61	96.965	78.8	21.0	72.5	1	4	1	O
62	97.150	67.1	45.7	53.1	2	3	2	O
63	97.929	67.3	76.6	26.7	2	1	3	O
64	98.102	67.3	22.7	90.0	2	4	0	T
65	98.121	39.6	76.7	53.5	4	1	2	O
66	98.476	90.0	62.6	27.4	0	2	3	T
67	100.274	79.1	63.2	29.3	1	2	3	O
68	101.616	41.9	48.1	90.0	4	3	0	T
69	102.342	68.3	27.8	73.4	2	4	1	O
70	104.231	57.0	90.0	33.0	3	0	3	T
71	105.483	69.0	64.6	34.0	2	2	3	O
72	105.661	44.3	64.6	56.5	4	2	2	O

Proporzioni per locali rettangolari

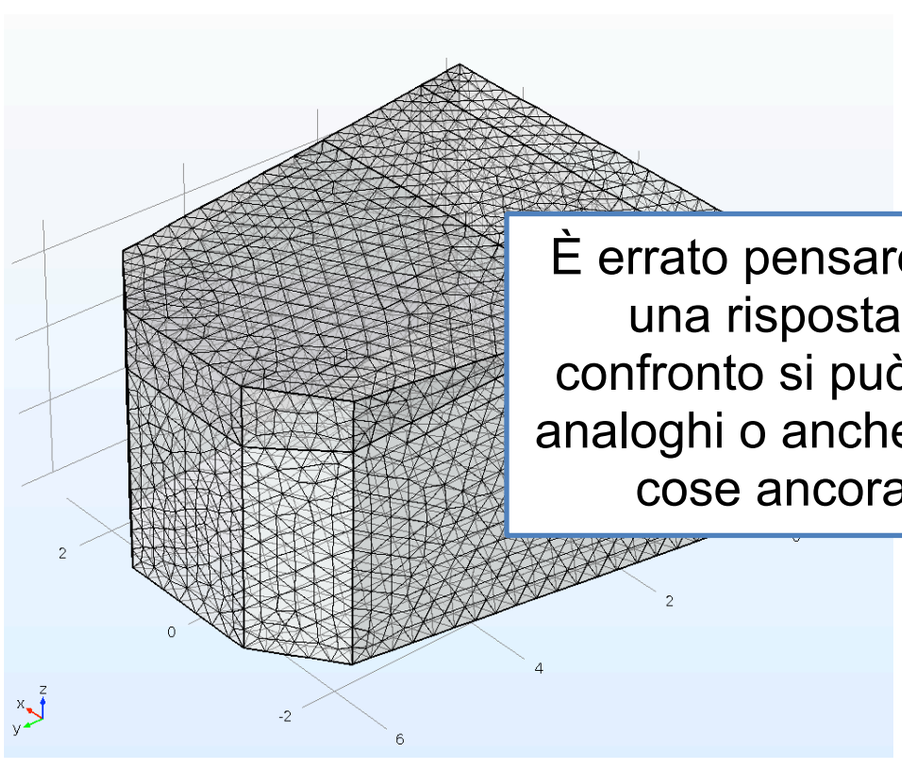
	Altezza	Larghezza	Lunghezza
A	1.00	1.14	1.39
B	1.00	1.29	1.54
C	1.00	1.60	2.33

Area di Bolt



FEM Simulation

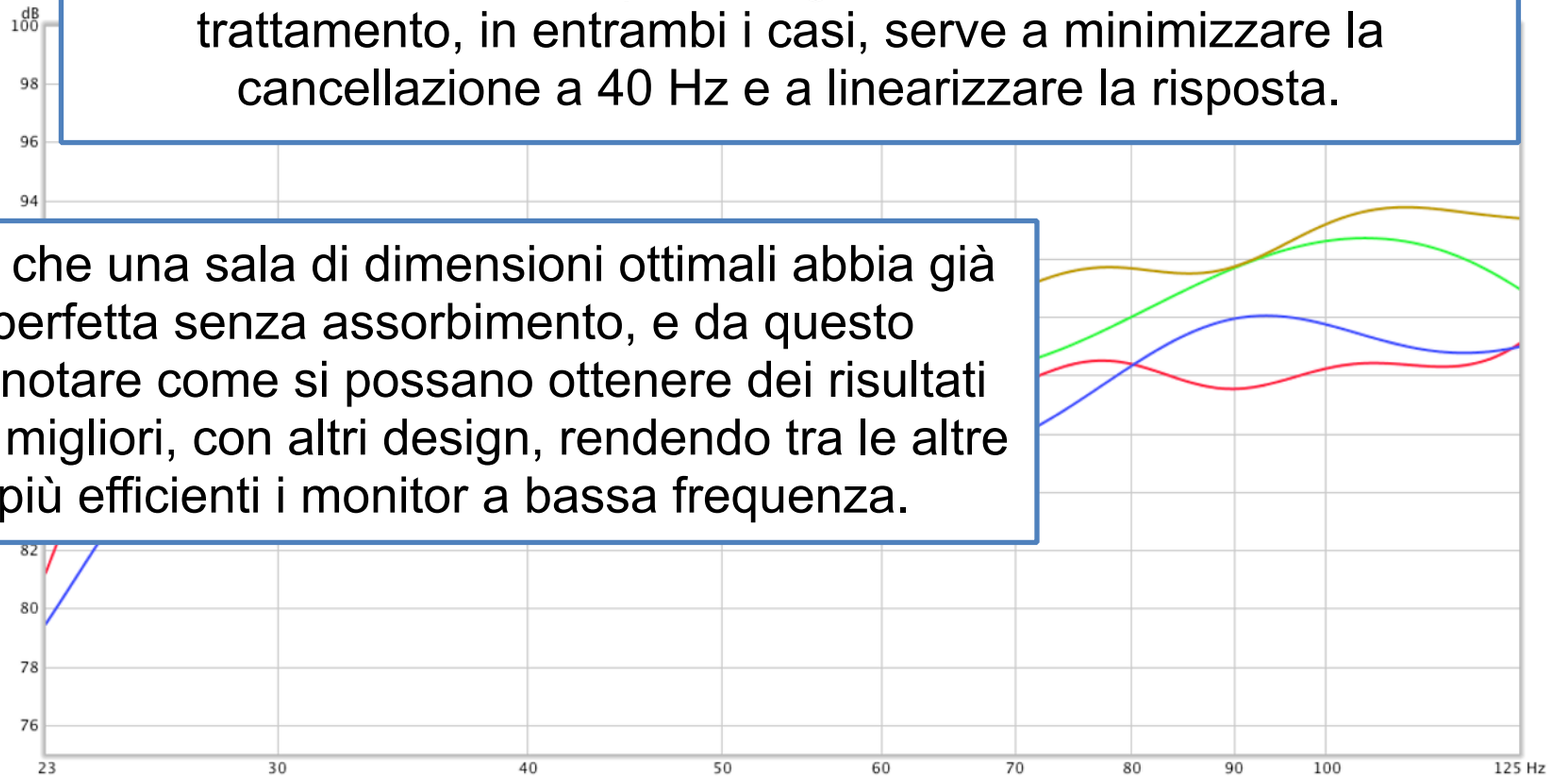
Confronto tra una sala rettangolare dalle dimensioni “ottimali” Louden (1/1.4/1.9, ossia H=3.4m, W=4.76m, L=6.46m), con una di dimensioni identiche dove però i lati sono inclinati in modo simmetrico tra loro.



Mesh per COMSOL

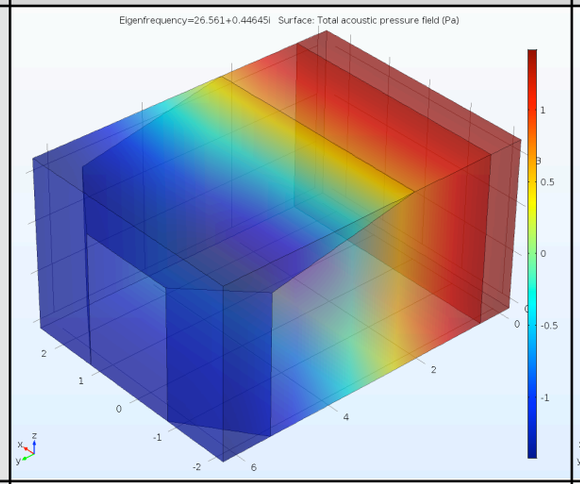
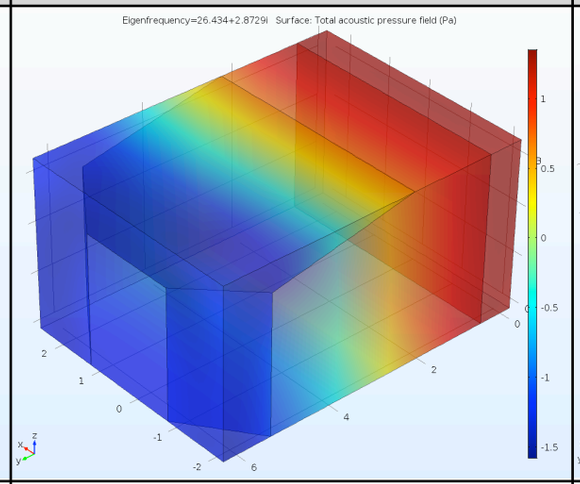
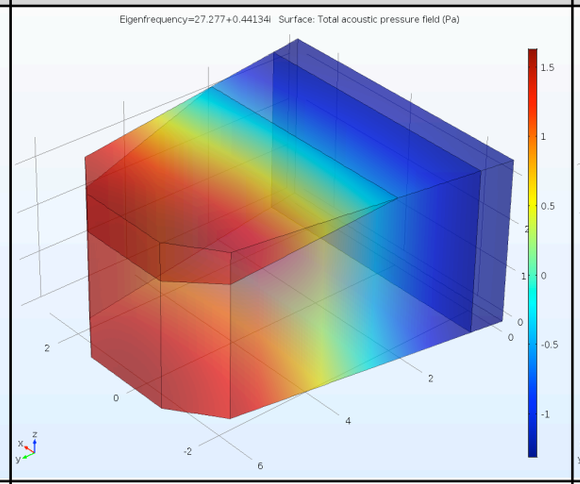
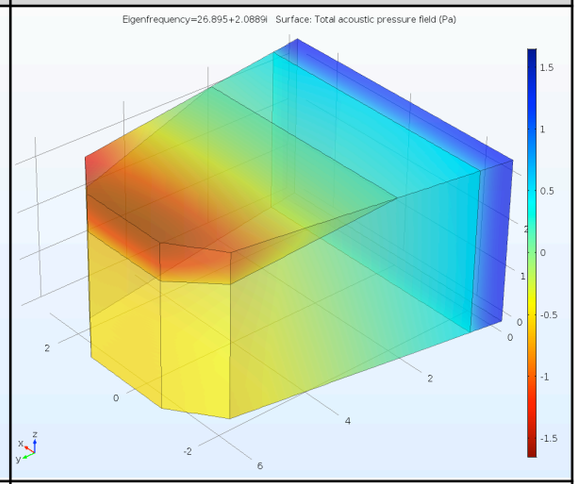
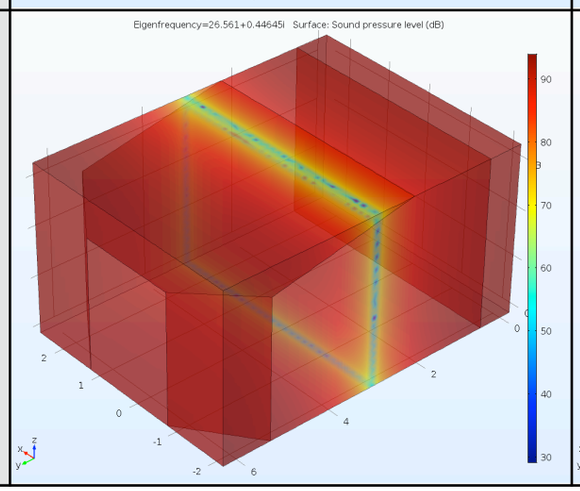
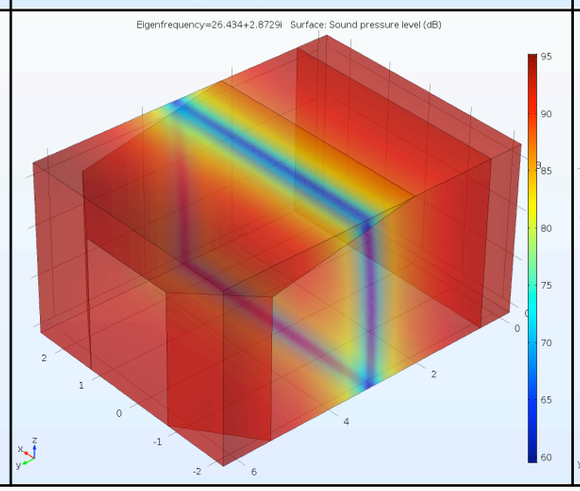
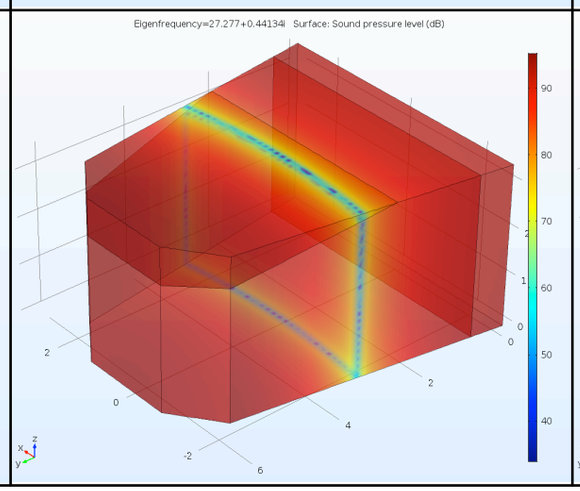
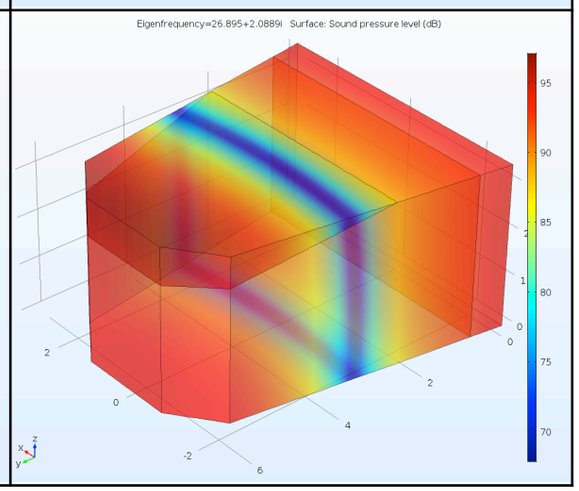
la stanza “slanted” ha più energia sonora alle basse e che il trattamento, in entrambi i casi, serve a minimizzare la cancellazione a 40 Hz e a linearizzare la risposta.

È errato pensare che una sala di dimensioni ottimali abbia già una risposta perfetta senza assorbimento, e da questo confronto si può notare come si possano ottenere dei risultati analoghi o anche migliori, con altri design, rendendo tra le altre cose ancora più efficienti i monitor a bassa frequenza.



FR of a Rectangular (Louden) room untreated (red) and treated (blue) VS. non-rectangular (Louden “slanted”) untreated (brown) and treated (green).

FEM Simulation

1L mode	Louden		Louden “slanted”	
Mode	f = 26.6 Hz	f = 26.4 Hz	f = 27.3 Hz	f = 26.9 Hz
MT60	MT60 = 2.44 s	MT60 = 0.38 s	MT60 = 2.48 s	MT60 = 0.52 s
Acoustic Pressure				
SPL				

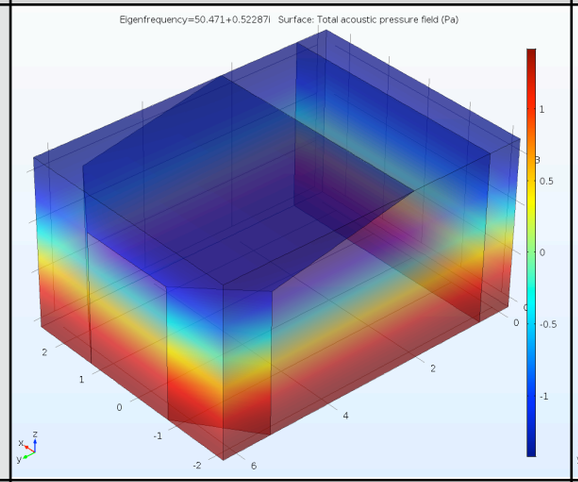
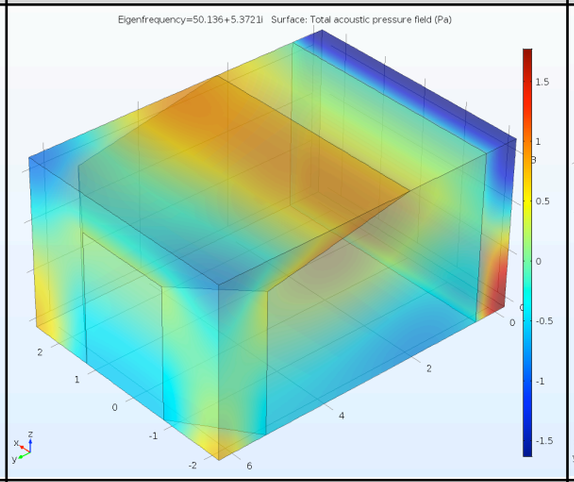
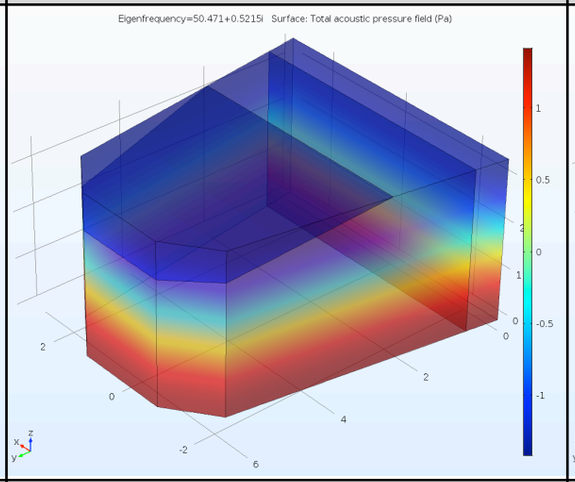
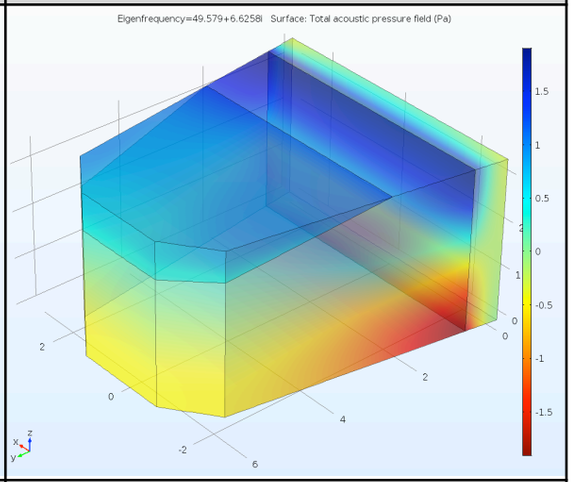
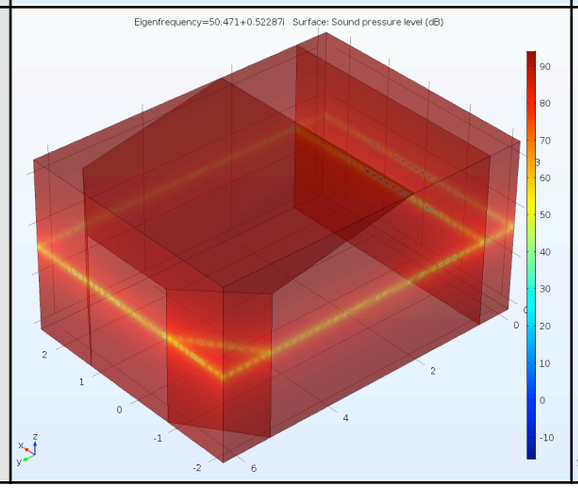
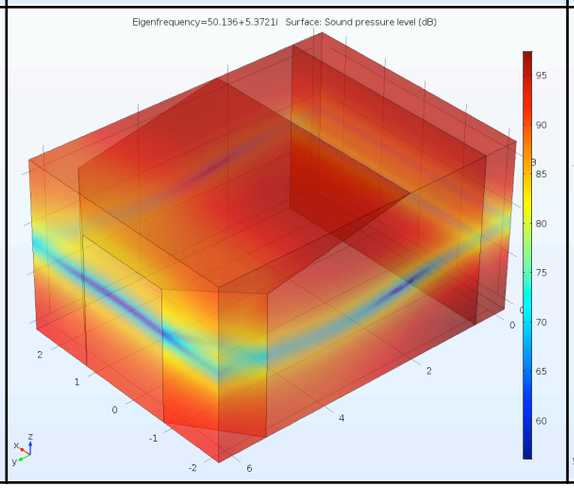
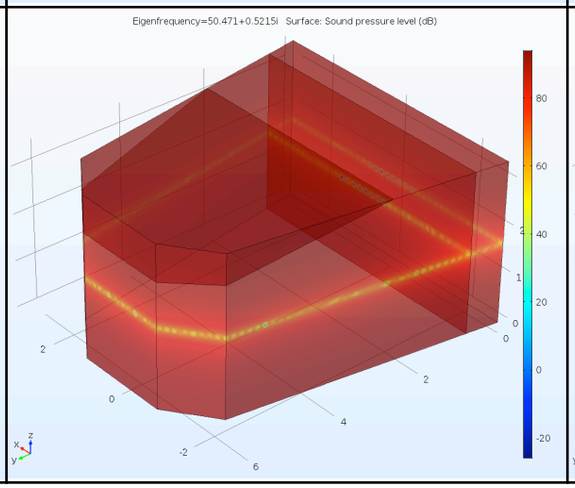
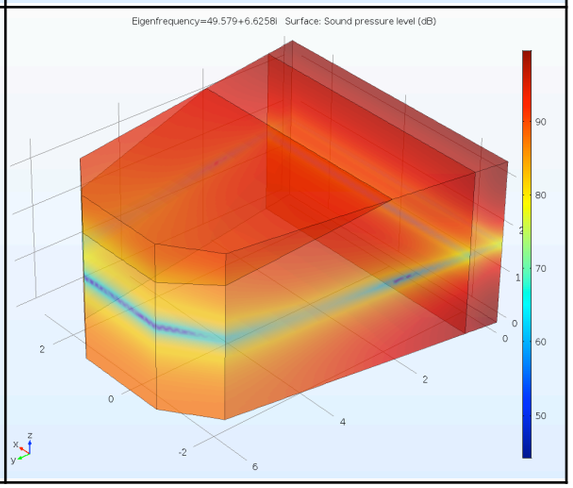
FEM Simulation

Si nota:

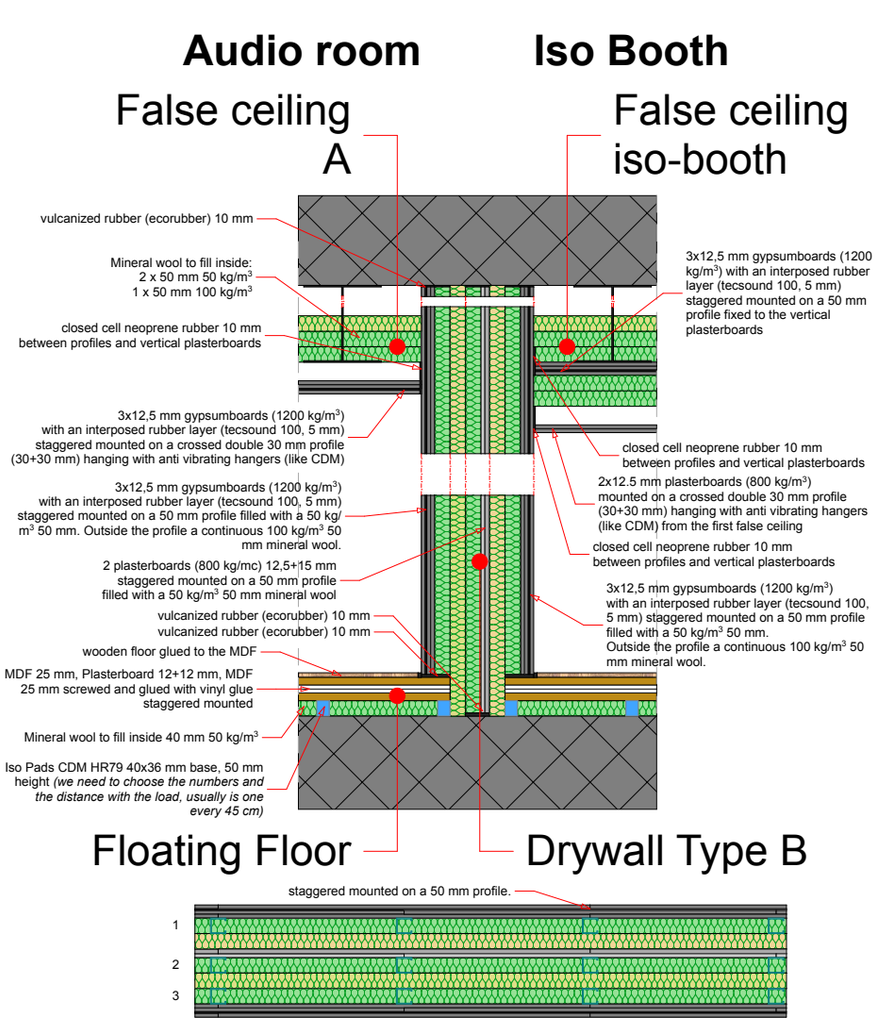
- la diminuzione del tempo di decadimento modale nel caso trattato
- lo shift in frequenza della frequenza di risonanza
- la distribuzione della pressione sonora in modalità più omogenea nella stanza nel caso trattato
  (e questo è utile ai fini della progettazione dove si devono proprio minimizzare gli effetti delle onde stazionarie diminuendo la discrepanza tra i livelli sonori che si percepiscono nei punti di massimo e minimo della stanza)

Questi sono alcuni dei pochi modi che si riescono a riconoscere a stanza trattata, infatti sopra i 50 Hz, anche con questo semplice trattamento acustico, i modi sono completamente degenerati e abbattuti, e quindi la pressione sonora è distribuita in modo pressoché omogeneo in tutto lo spazio.

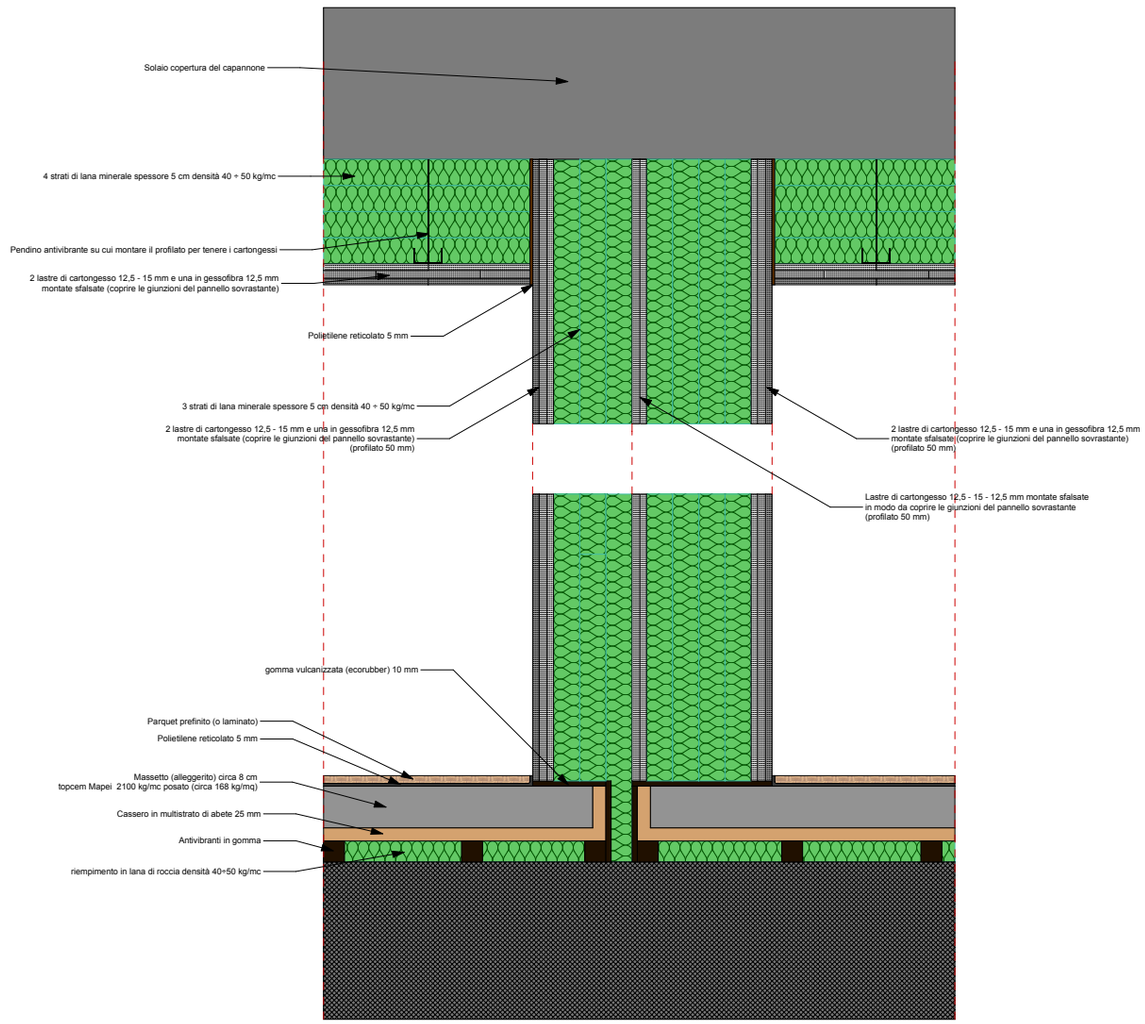
FEM Simulation

1H mode	Louden		Louden “slanted”	
Mode	f = 50.5 Hz	f = 50.1 Hz	f = 50.5 Hz	f = 49.6 Hz
MT60	MT60 = 2.09 s	MT60 = 0.20 s	MT60 = 2.10 s	MT60 = 0.16 s
Acoustic Pressure				
SPL				

Il Isolamento acustico



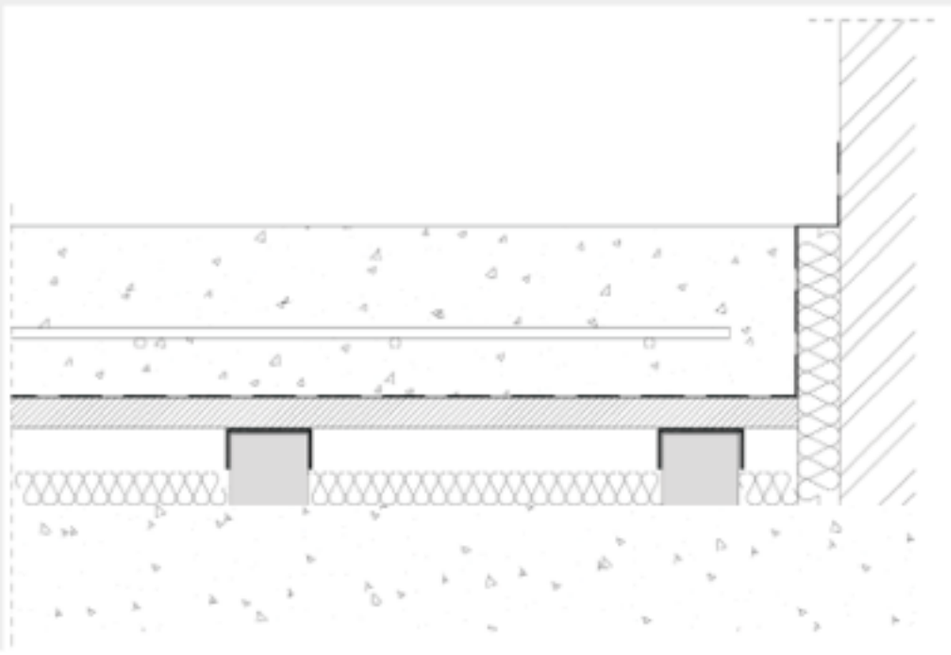
Parete divisoria

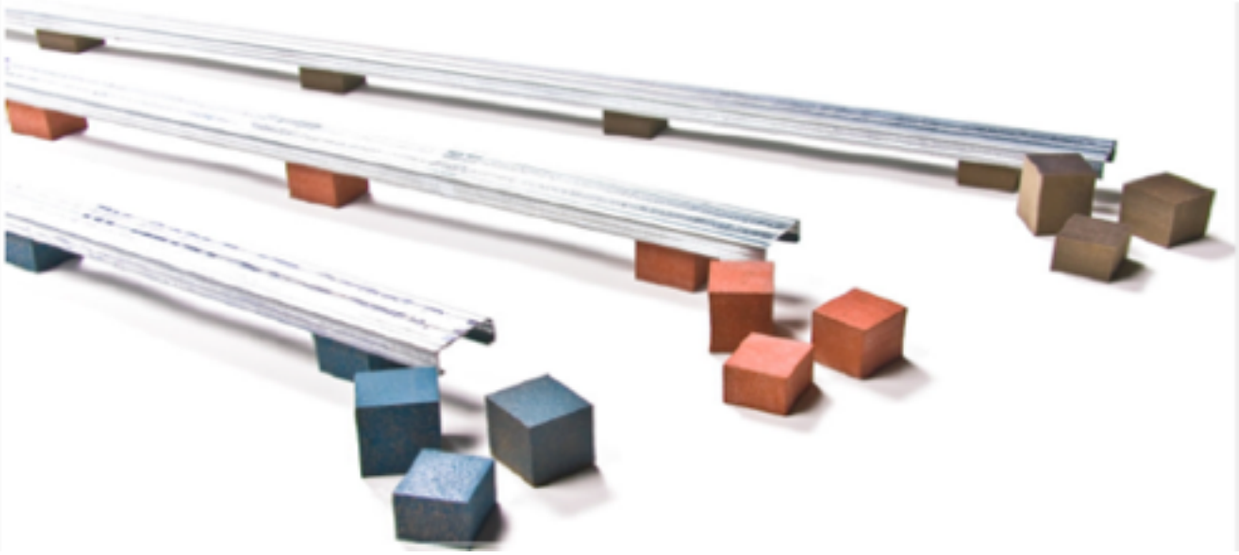


Antivibranti

Isolation Pads

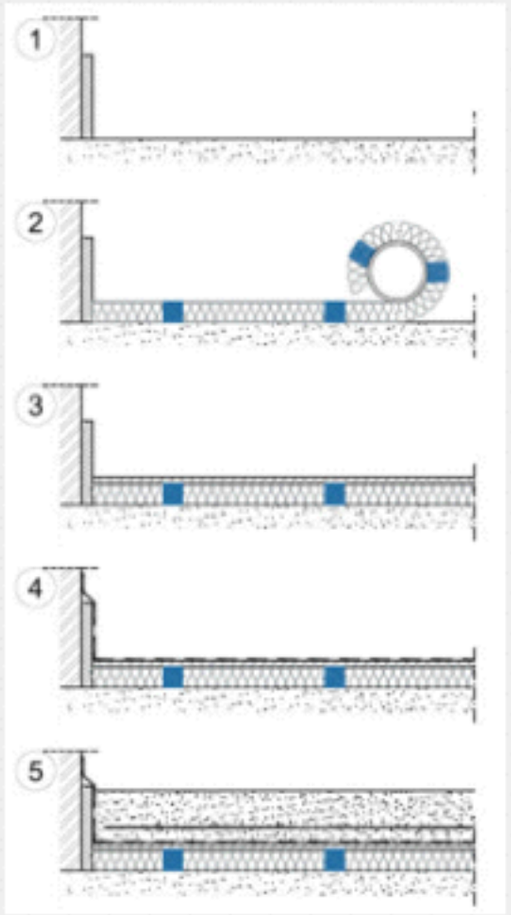
CDM

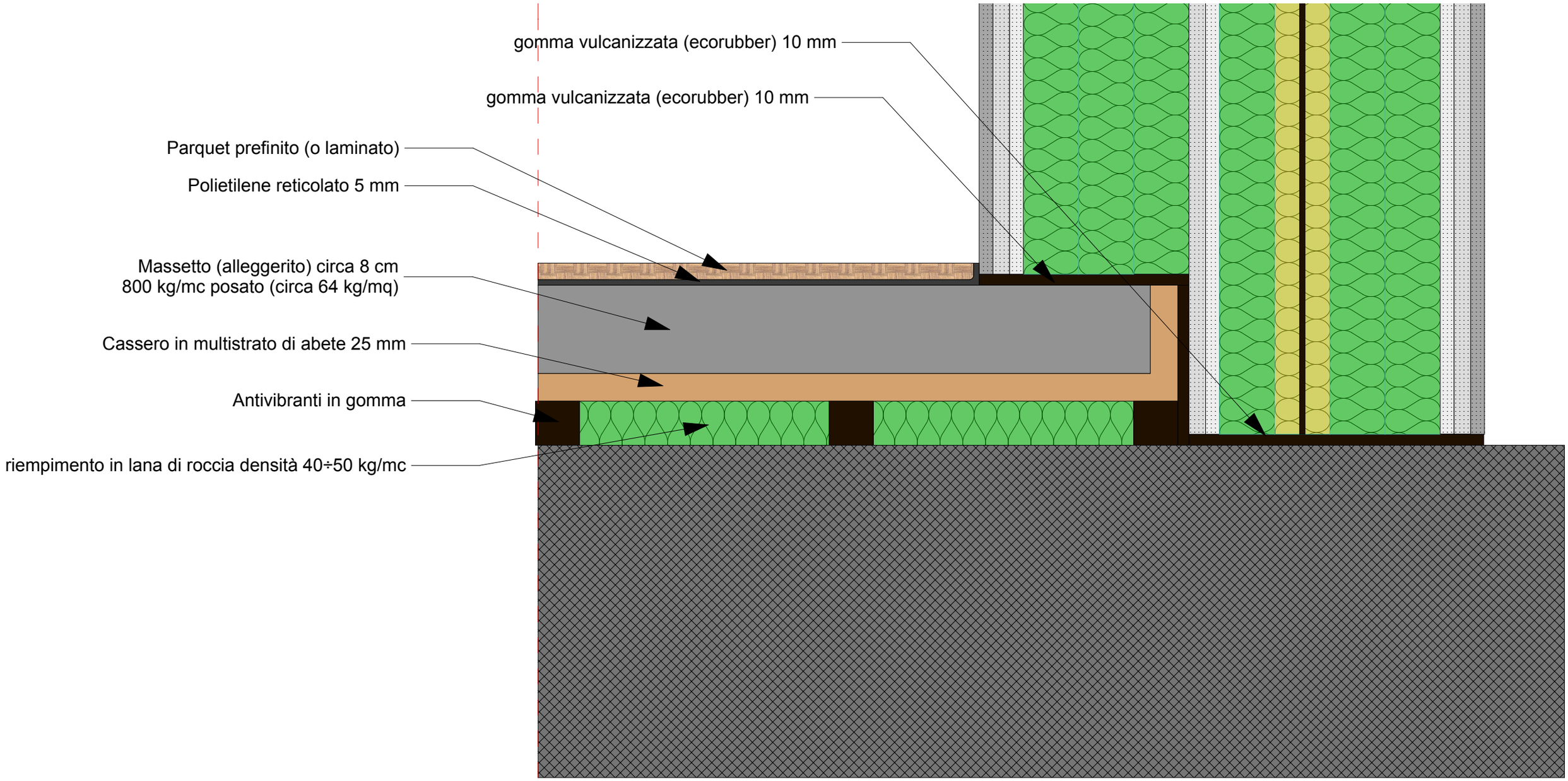




Roll Out Isolation

CDM




gomma vulcanizzata (ecorubber) 10 mm
gomma vulcanizzata (ecorubber) 10 mm
Parquet prefinito (o laminato)
Polietilene reticolato 5 mm
Massetto (alleggerito) circa 8 cm
800 kg/mc posato (circa 64 kg/mq)
Cassero in multistrato di abete 25 mm
Antivibranti in gomma
riempimento in lana di roccia densità 40÷50 kg/mc

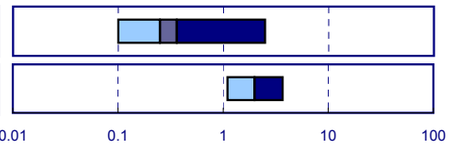
CDM-79 HR

MATERIAL DATA SHEET

MDS_CDM-79-v1 19/11/2004

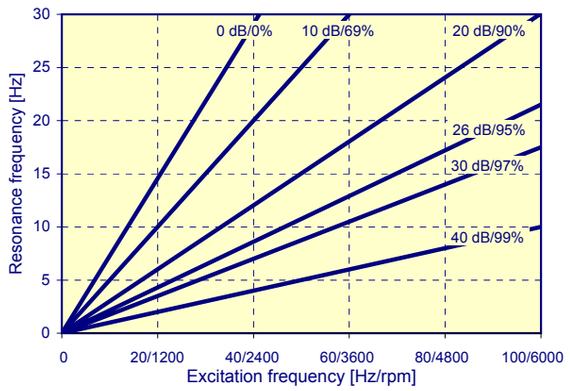
CDM-HR family: ■ CDM-79 □ CDM-80 □ CDM-81 □ CDM-82 □ CDM-83

Load Range [MPa] (*)	Static	Total	Occasional
	0.10 - 0.25	0.36	2.50
E-module [MPa] (*)	Static	Dynamic	
	1.10 - 2.00	1.90 - 3.60	

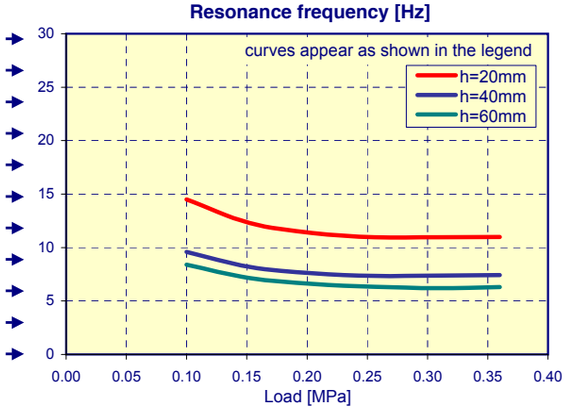


* with respect to the optimal load range

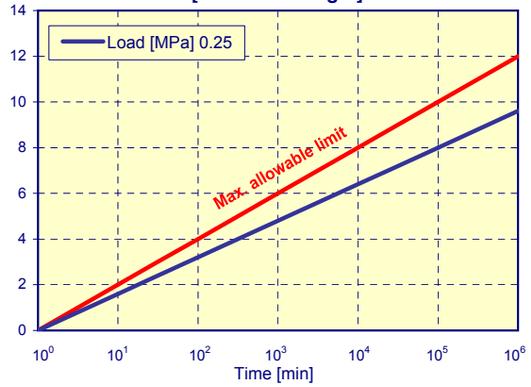
Vibration isolation level



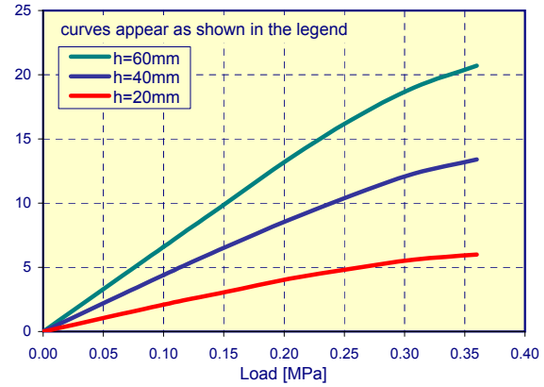
Resonance frequency [Hz]



Additional deflection by creep [% of initial height]



Deflection [mm]



Material	-	NR	**Elongation at Break**	ASTM F152	> 150%
Density	-	700 kg/m³	**Compression set 50%/23°C/70h**	DIN 53572	< 15 %
Colour	-	Red	**Compressibility at 0.7 MPa**	ASTM F36	25 - 35%
Temperature Range	Constant	-10 / +100°C	**Recovery at 0.7 MPa**	ASTM F36	> 90%
Tensile Strength	ASTM F152	> 0.7 MPa	**Shore hardness**	ASTM D2240	25 - 35 A

These test results are obtained on a sample with a cross section of 60*60mm

CDM
Reutenbeek 9-11
BE - 3090 Overijse
Belgium

Noise & Vibration Control

T: +32-2-687 79 07
F: +32-2-687 35 52
general@cdm.be
www.cdm.be

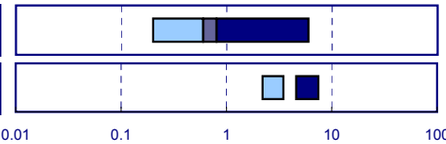
CDM-80 HR

MATERIAL DATA SHEET

MDS_CDM-80-v1 19/11/2004

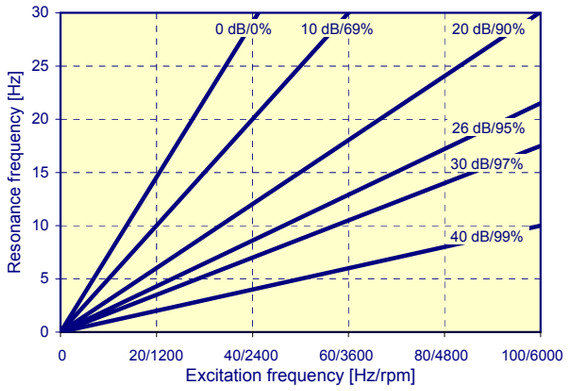
CDM-HR family: □ CDM-79 ■ CDM-80 □ CDM-81 □ CDM-82 □ CDM-83

Load Range [MPa] (*)	Static	Total	Occasional
	0.20 - 0.60	0.80	6.00
E-module [MPa] (*)	Static	Dynamic	
	2.20 - 3.50	4.60 - 7.50	

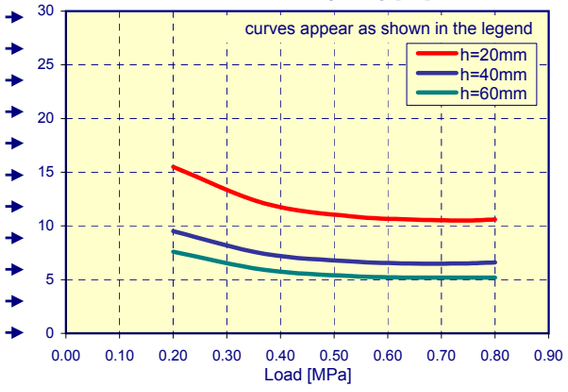


* with respect to the optimal load range

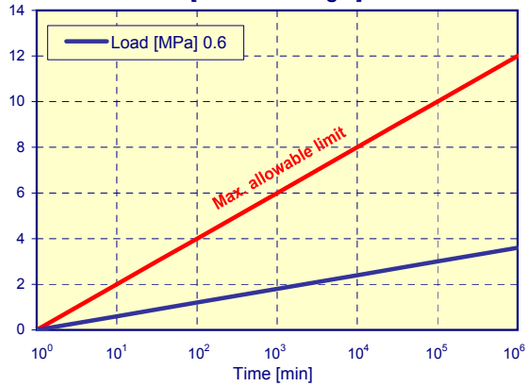
Vibration isolation level



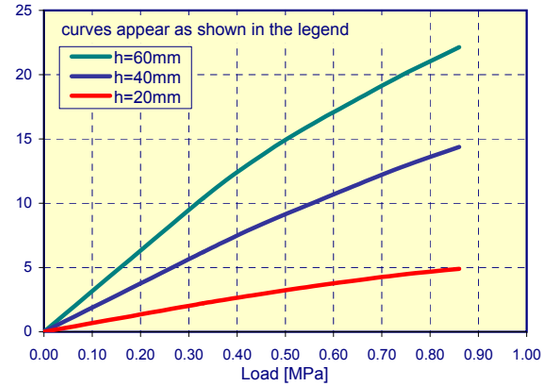
Resonance frequency [Hz]



Additional deflection by creep [% of initial height]



Deflection [mm]



Material	-	NR	**Elongation at Break**	ASTM F152	> 275%
Density	-	900 kg/m³	**Compression set 50%/23°C/70h**	DIN 53572	< 15 %
Colour	-	Blue	**Compressibility at 2.8 MPa**	ASTM F36	55 - 65%
Temperature Range	Constant	-10 / +100°C	**Recovery at 2.8 MPa**	ASTM F36	> 90%
Tensile Strength	ASTM F152	> 2.5 MPa	**Shore hardness**	ASTM D2240	30 - 40 A

These test results are obtained on a sample with a cross section of 60*60mm

CDM
Reutenbeek 9-11
BE - 3090 Overijse
Belgium

Noise & Vibration Control

T: +32-2-687 79 07
F: +32-2-687 35 52
general@cdm.be
www.cdm.be

STUDIO SOUND SERVICE DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	kg peso		pascal				DIMENSIONI PAD			Area un piedino		
2	36,73	kg	360	pa			x	40	mm	0,00144	m^2	
3							y	36	mm			
4	**Passo Piedini al**	**metro quadro**		(100 : passo in cm)^2 = n. piedini			z (altezza)		mm			
5	50	cm	4	n° di piedini/m^2								
6	60	cm	2,78	n° di piedini/m^2								
7												
8	LOAD RANGE	MPa										
9		Static		Total	Occasional			densità	spessore	Peso		
10		Min	Max					[kg/m^3]	[cm]	[m^2]		
11	CDM-79	0,1	0,25	0,36	2,5	Mpa	gettata	2000	6	120		
12	CDM-80	0,2	0,6	0,8	6		legno cassero	600	2	12		
13	CDM-81	0,4	1,2	1,5	12		Parquet	600	1,5	9		
14	CDM-82	1,2	3	4	20		TOTALE			141		
15	CMD-83	4	8	10	60							
16												
17	**m[kg] = ((P[MPa] x 10^6) x S[m^2])/a[9.8 m/s^2]**						INSERISCI IL PESO DEL SOLAIO A m^2			141	kg/m^2	
18	LOAD RANGE	kg per piede					INSERISCI IL PESO DI ALTRO A m^2			70	kg/m^2	
19		Static		Total	Occasional		Static		Total	Occasional		
20		Min	Max				Min	Max				
21	CDM-79	14,7	36,7	52,9	367,3	kg/piedino	14,4	5,7	4,0	0,6	n° di piedini/m^2	
22	CDM-80	29,4	88,2	117,6	881,6		7,2	2,4	1,8	0,2		
23	CDM-81	58,8	176,3	220,4	1763,3		3,6	1,2	1,0	0,1		
24	CDM-82	176,3	440,8	587,8	2938,8		1,2	0,5	0,4	0,1		
25	CMD-83	587,8	1175,5	1469,4	8816,3		0,4	0,2	0,1	0,0		
26												
27							Static		Total	Occasional	OPT	
28							Min	Max				
29					Interasse	cm	26	42	50	132	34	
30							37	65	75	204	51	
31							53	91	102	289	72	
32							91	145	167	373	118	
33							167	236	264	646	201	
34	**CDM CC40 Elastomer Acoustic Suspension Hangers**											
35			Loading		n° hangers/m^2		Centre distance 60		centre distance 30		OPT 60	OPT 30
36	Model	Elastomer	kg/hanger				cm		cm		cm	
37			Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max		
38	CDM-CC40-150	CDM-79	10	20	6,0	3,0	27,8	55,6	55,6	111,1	42	56
39	CDM-CC40-350	CDM-80	20	45	3,0	1,3	55,6	125,0	111,1	250,0	90	118
40												
41	INSERISCI IL PESO DEL CONTROSOFITTO A m^2				60	kg/m^2						

corrente a pavimento

Quadro elettrico

Immissione aria

Emissione Aria

Ctrl room Left
Ctrl room right

Ctrl room
SPRK L

Sala Ripresa 1

Corrente per banco

Quadro elettrico

Quadro elettrico

Quadro elettrico

1.800

500

900

250

825

1.000

1.800

Ctrl room Left
Ctrl room right

Ctrl room
SPRK L

Sala Ripresa 1

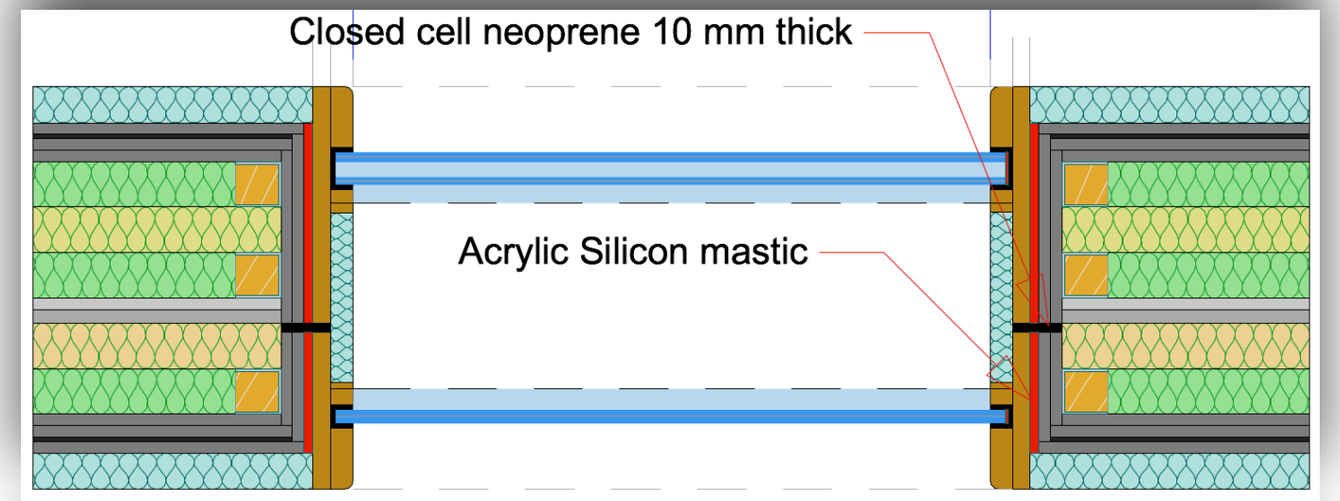
pavimento flottante

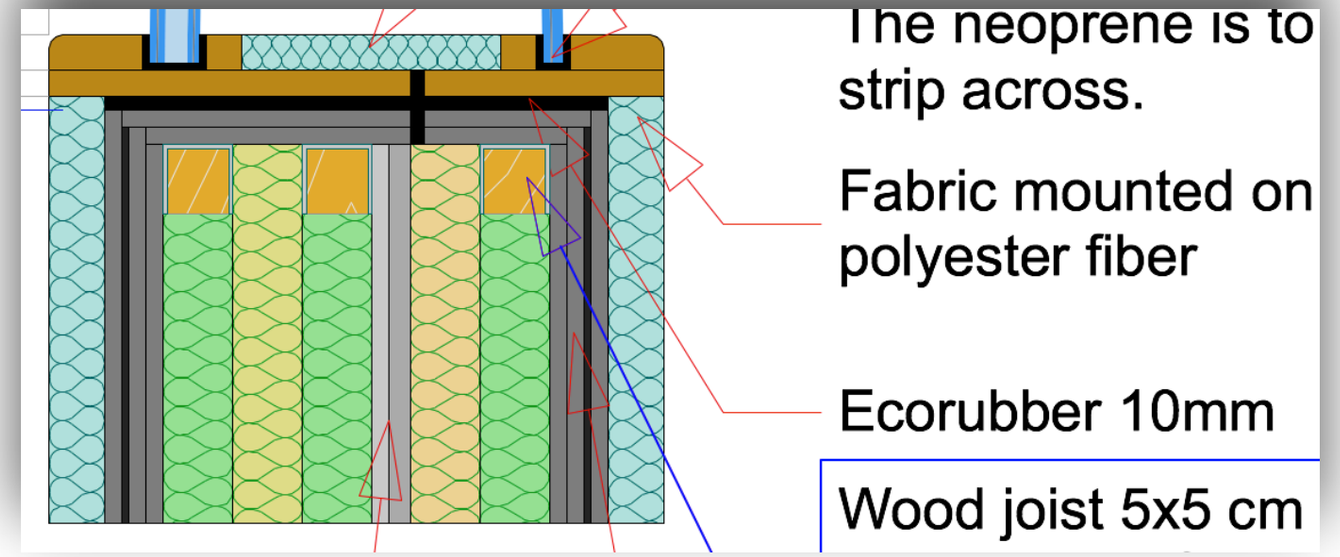
Floating
Floor

pavimento flottante

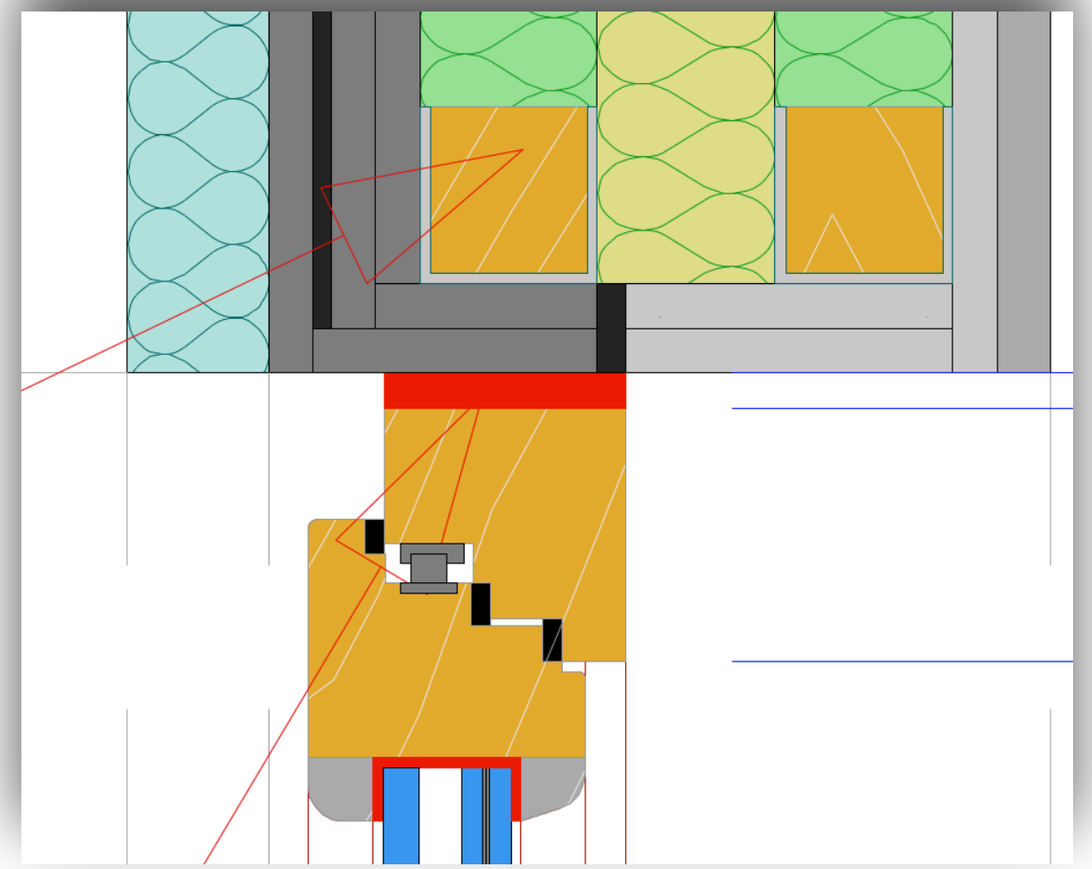
Floating
Floor

Porte e finestre



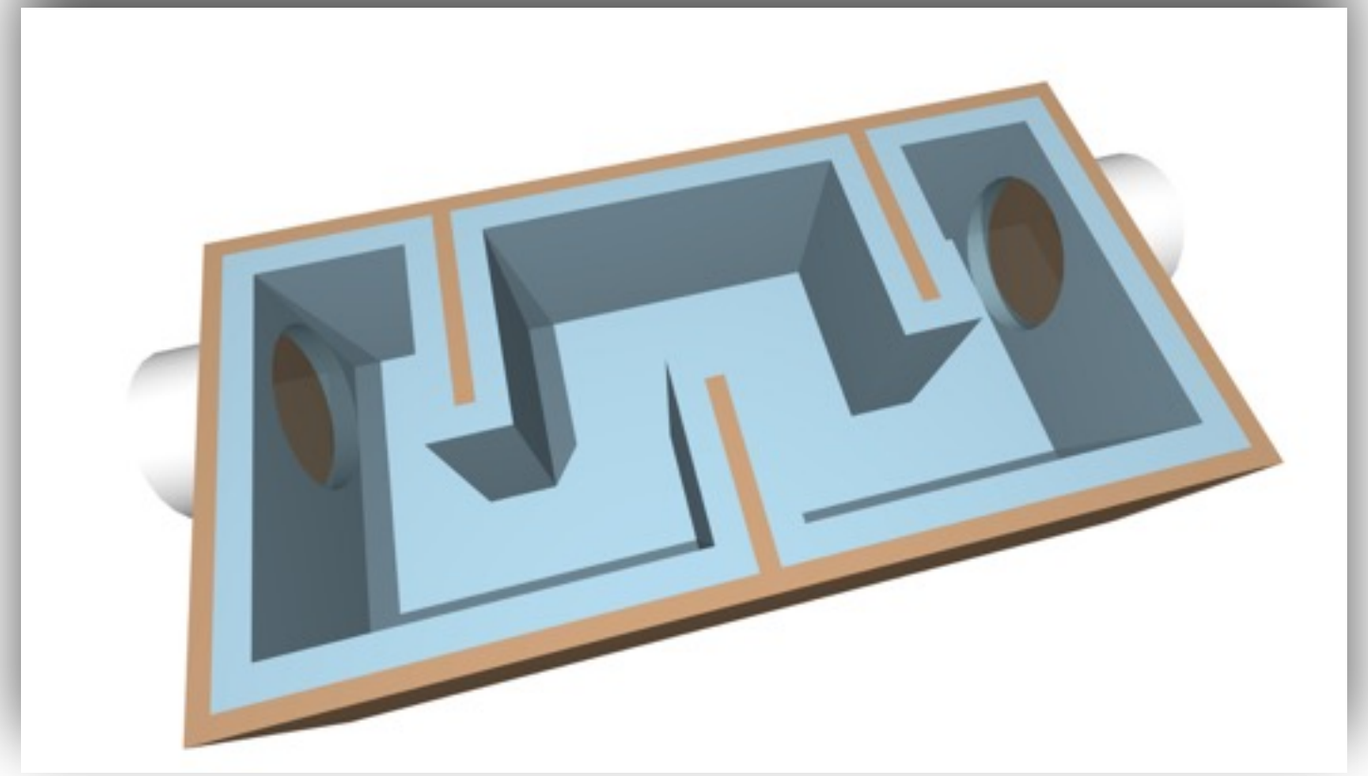


Doors and windows

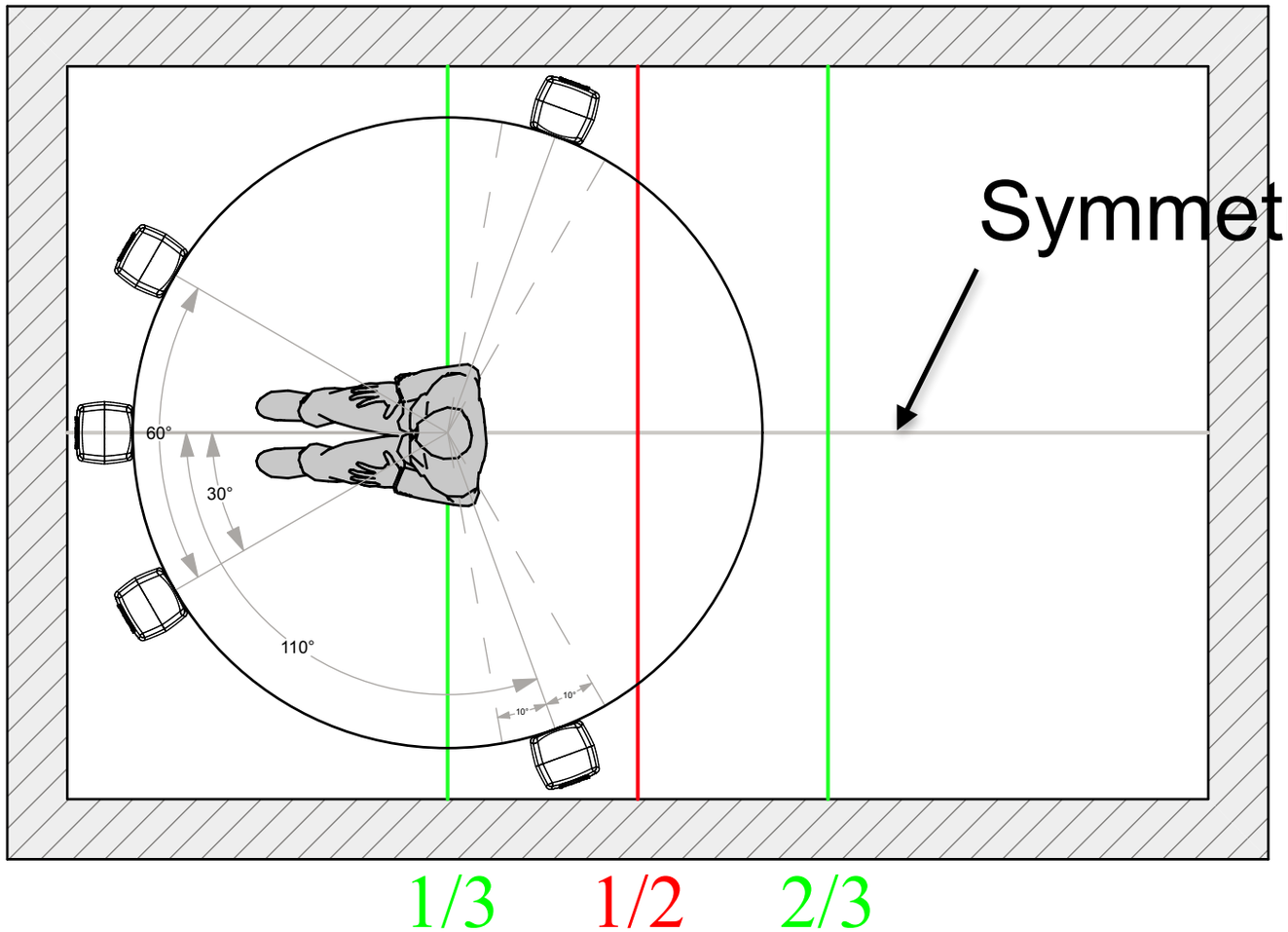


Silenziatori aria (HVAC)

HVAC silencers

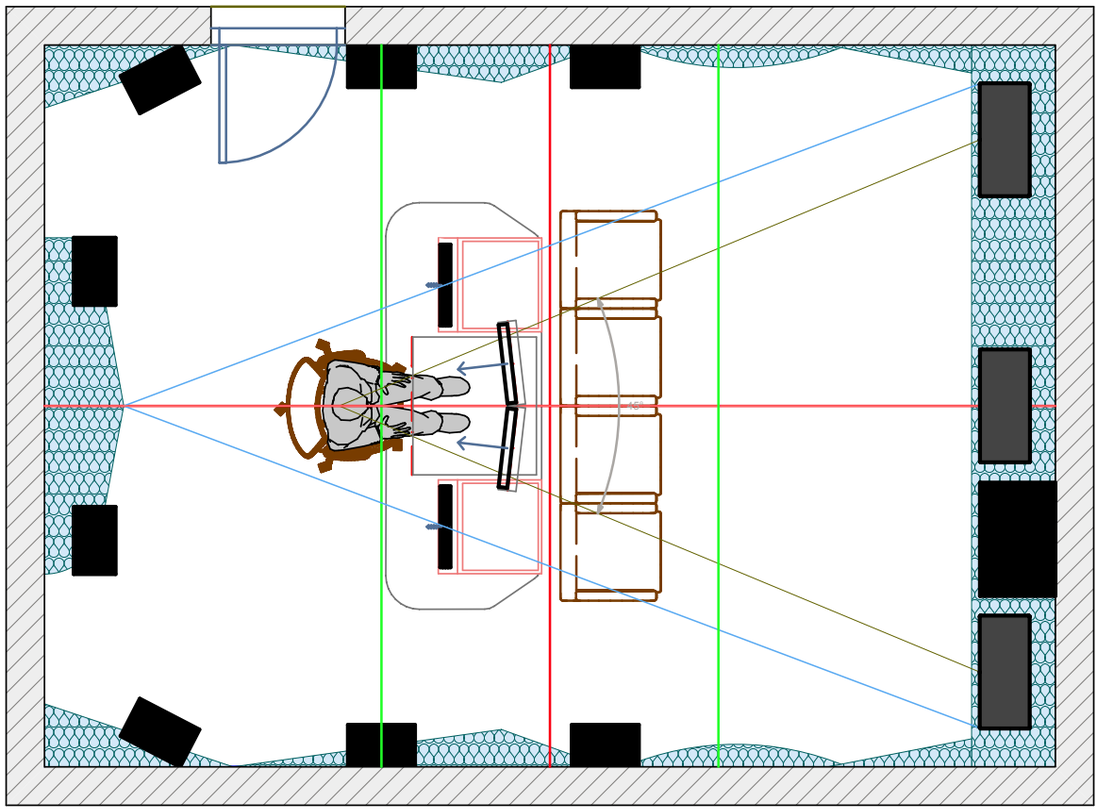


III Listening point/area

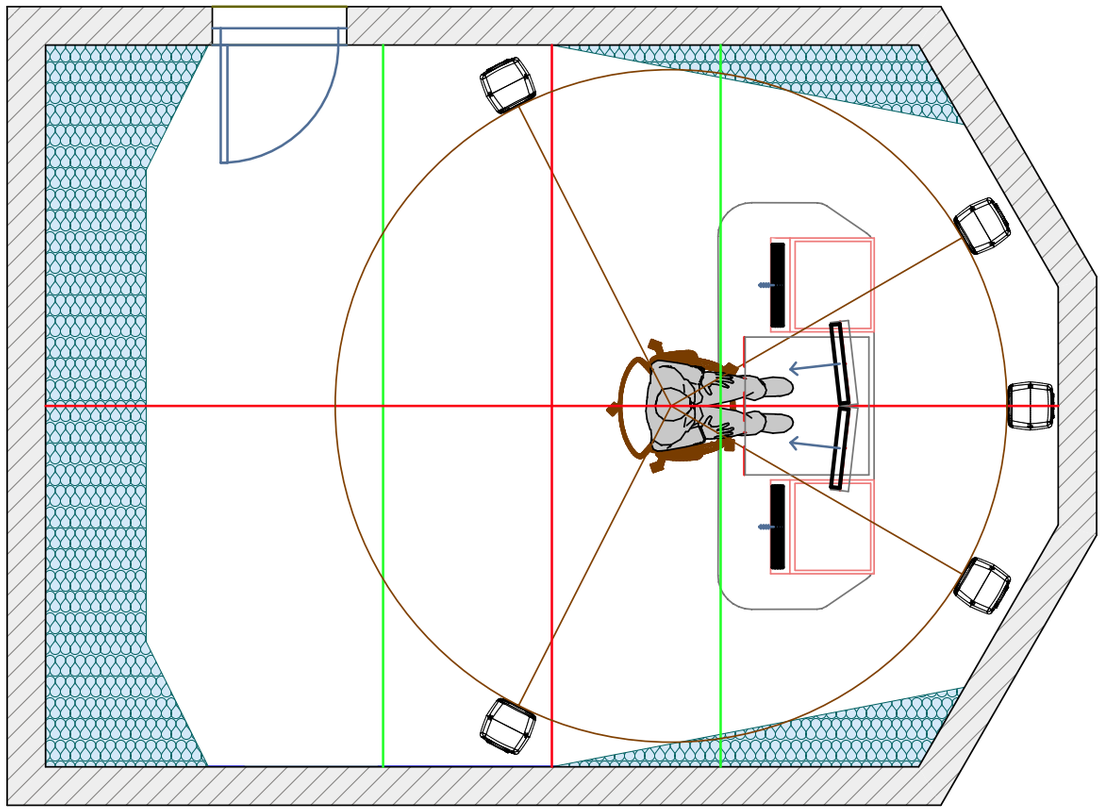


Configurazioni differenti

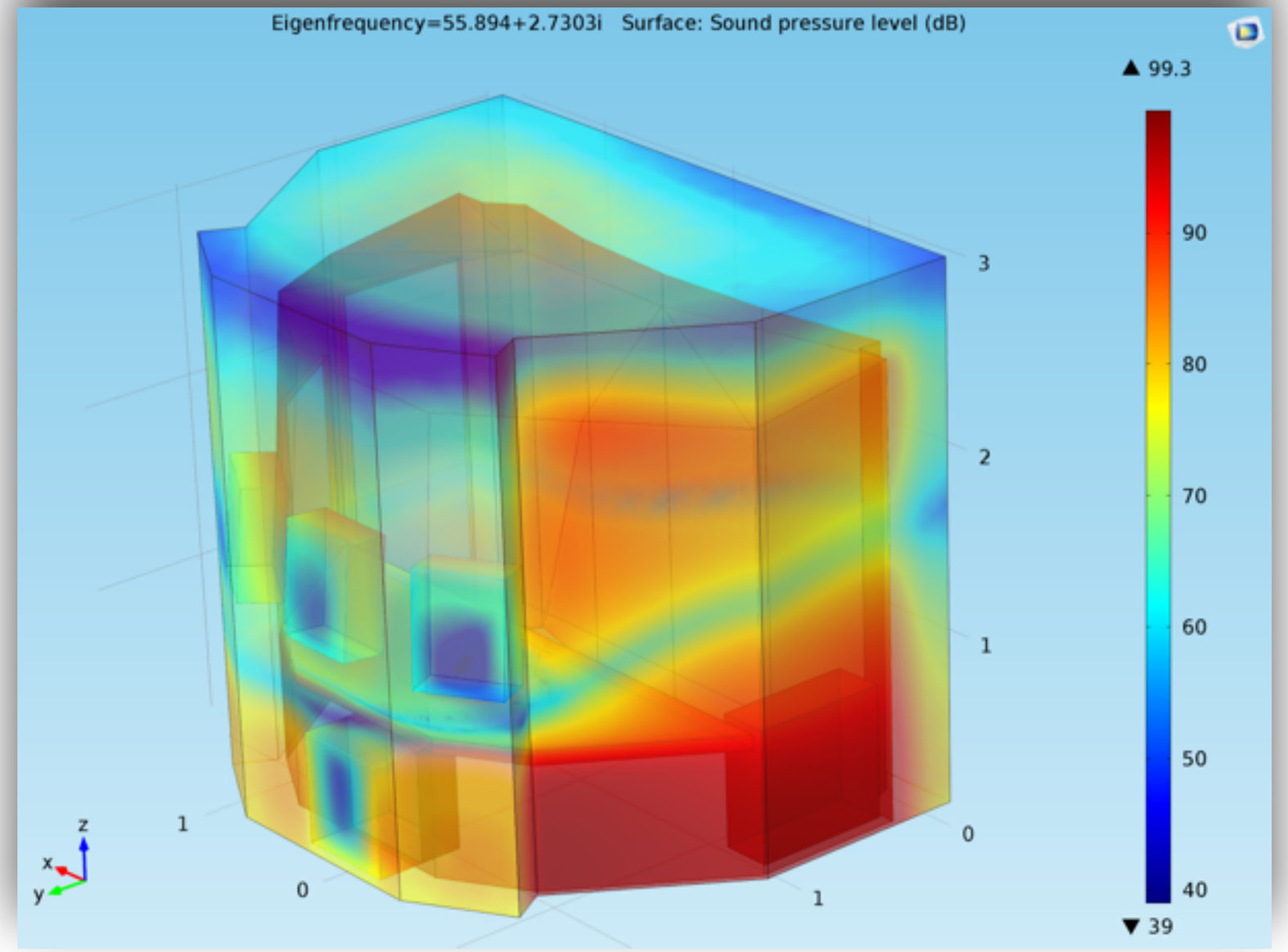
Diffuse Field (Dolby) (2/3)



ITU (1/3)



FEM simulation



FEM simulation (COMSOL)

FOX intl. ch. UK

Thanks to B&C Speakers for the image

IV Design acustico

Le sale regia hanno necessità particolari e i parametri acustici devono rientrare in un range, mentre le sale ripresa possono avere una sonorità particolare a seconda delle esigenze e del tipo di musica.

Per le regia ci sono dei “design standard” e delle linee guida da rispettare.

Control room design

Cosa <u>non può</u> essere una sala regia?

a. una camera anechoic (sarebbe straniante lavorarci per ore!!!)
b. una “tipica” sala domestica (quanto grande e di quale paese?!)

Come si può definire una sala regia?

Come un posto dove poter ascoltare in modo più neutro possibile!

↓

Standards and guidelines!!!

EBU ITU AES

Control room design

I software CAD ACUSTICI (EASE, CATT, ODEON) non sono utili a frequenze inferiori a 100 Hz, non possono simulare la risposta modale della stanza.
I software FEM (COMSOL) possono essere utili per le basse frequenze , ma non sono così utilizzati.

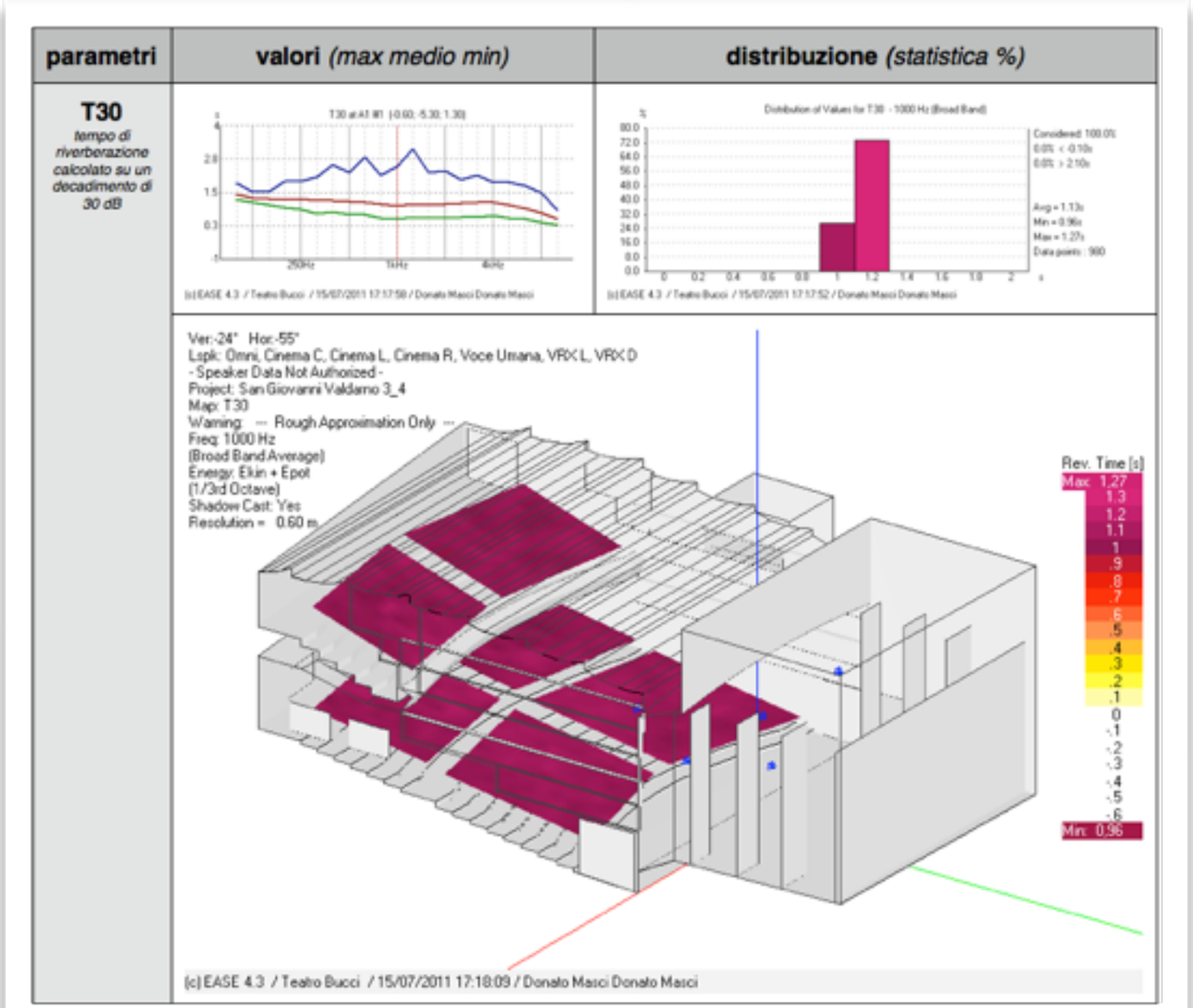
↓

Quindi spesso si usa soltanto **fisica di base, geometria, esperienza** e design tipici, come:

LEDE RFZ Non-environment

… e tante misure…

Modelli previsionali e simulazioni



Cosa sono?

Esistono metodi per simulare la propagazione acustica sottoforma di “raggi” (ray tracing) e elementi finiti (FEM):

Metodo	Campo acustico	Geometria	Range di Frenqueze	Ambienti	Risultati
FEM	Esatto discretizzato	approssimata	basse	piccoli	Analisi modale
RAY TRACING	Approssimato (acustica geometrica)	esatta (CAD)	medio-alte	grandi	Ecogrammi Parametri Acustici

Come funzionano?

1. Il suono è irradiato da una sorgente sottoforma di raggi (utilizzando le caratteristiche di direttività della sorgente, che sia una voce o uno strumento o una cassa)

2. ogni raggio ha una certa energia, subisce urti con le superfici che delimitano l'ambiente; a ogni riflessione si tiene conto dell'assorbimento della superficie stessa
(è molto importante attribuire ai materiali le corrette caratteristiche di assorbimento e diffusione)

3. quando l'energia residua di un raggio si ritiene trascurabile, si abbandona tale raggio: si possono registrare le energie dei raggi, il loro percorso ed i tempi di propagazione.

4. Si può simulare la risposta all'impulso e quindi i parametri acustici in ogni punto della sala.

In pratica come li usiamo?

caso di una nuova costruzione

1. si parte da un'idea di base della forma della sala, in accordo con il resto della progettazione

2. ci si fa un'idea dei parametri acustici che si devono ottenere alla fine sulla base dei dati presenti in letteratura e delle esigenze del committente

3. si cominciano a simulare i parametri con simulazioni leggere e veloci utilizzando la forma e i materiali individuati

4a. si cerca di capire se con modifiche minime si riescono ad ottenere risultati ottimali oppure se vanno fatte modifiche sostanziali (a questo punto si riscute con il resto della progettazione e si riparte con una nuova idea, cercando di capire e modificare i problemi che hanno causato l'eliminazione del modello)

4b. se il modello risponde bene si passa alle correzioni "fini" e le simulazioni più accurate *(dopo aver simulato con precisione i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici)*

In pratica come li usiamo?

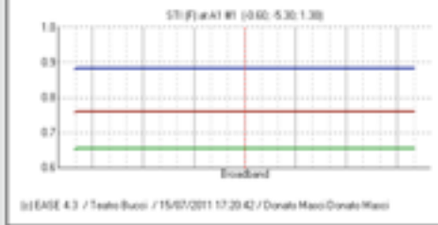
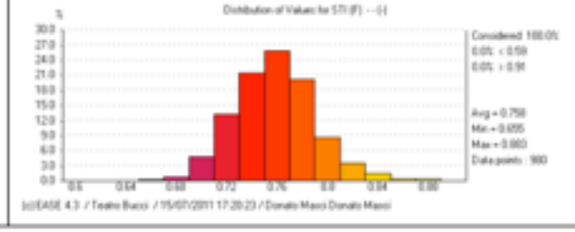
caso di un restauro/rifacimento

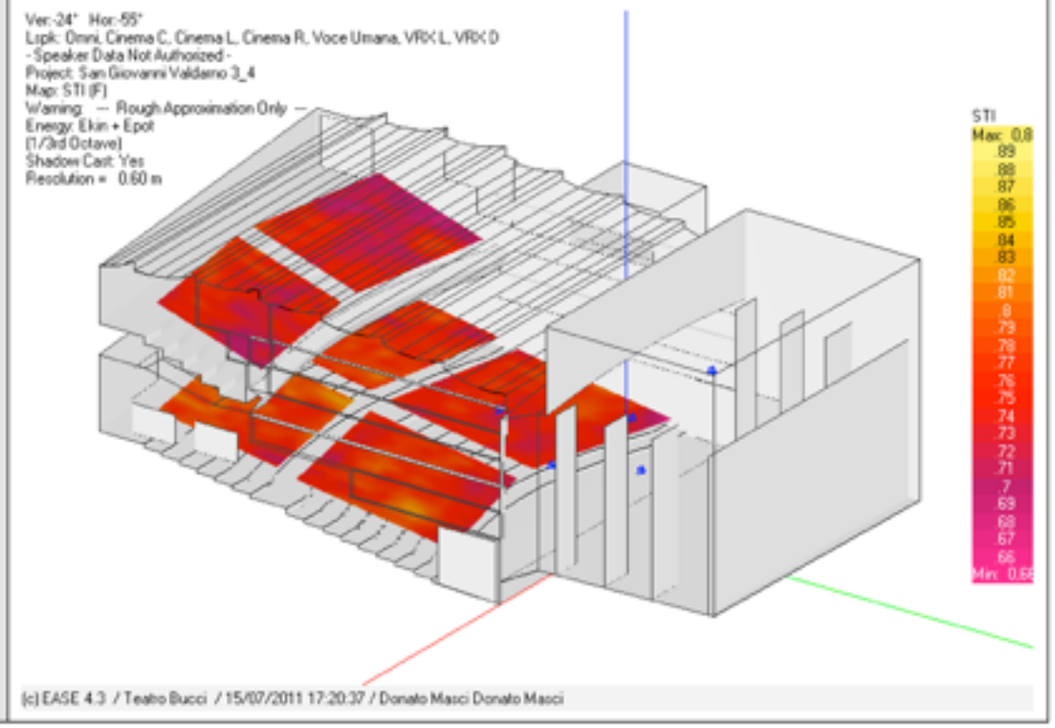
1. si parte facendo una campagna di misure acustiche dela sala

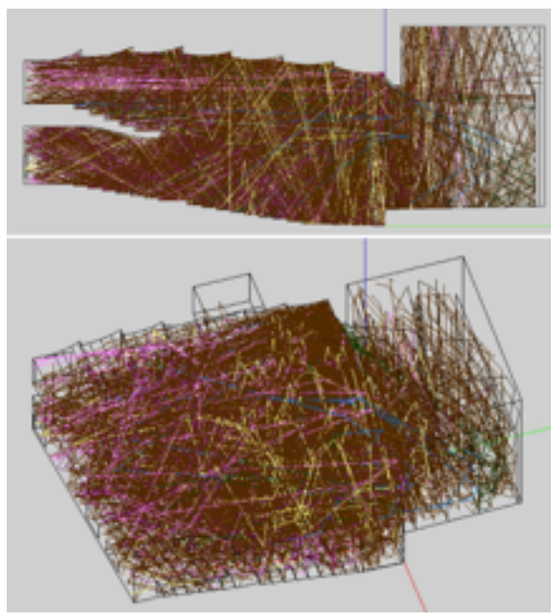
2. si costruisce il modello al CAD acustico e si “tara” sulle misure, in modo da valutare attentamente i coefficienti di assorbimento dei materiali esistenti

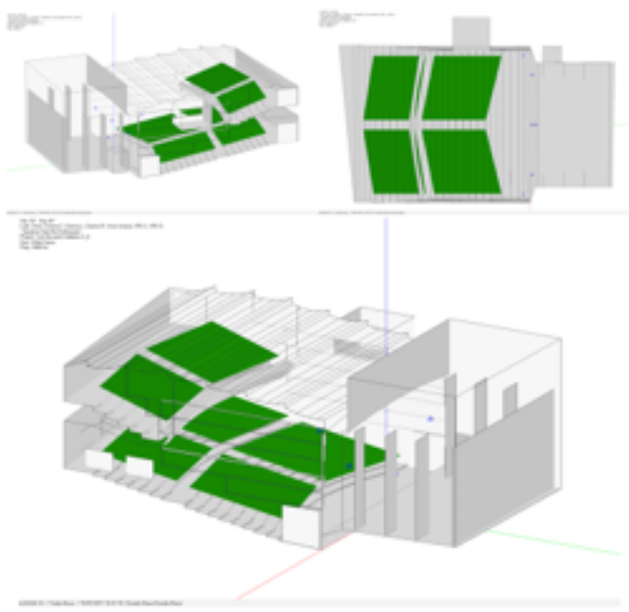
3. si cerca di capire quali sono i problemi e le eventuali correzioni, discutendone con il resto della progettazione

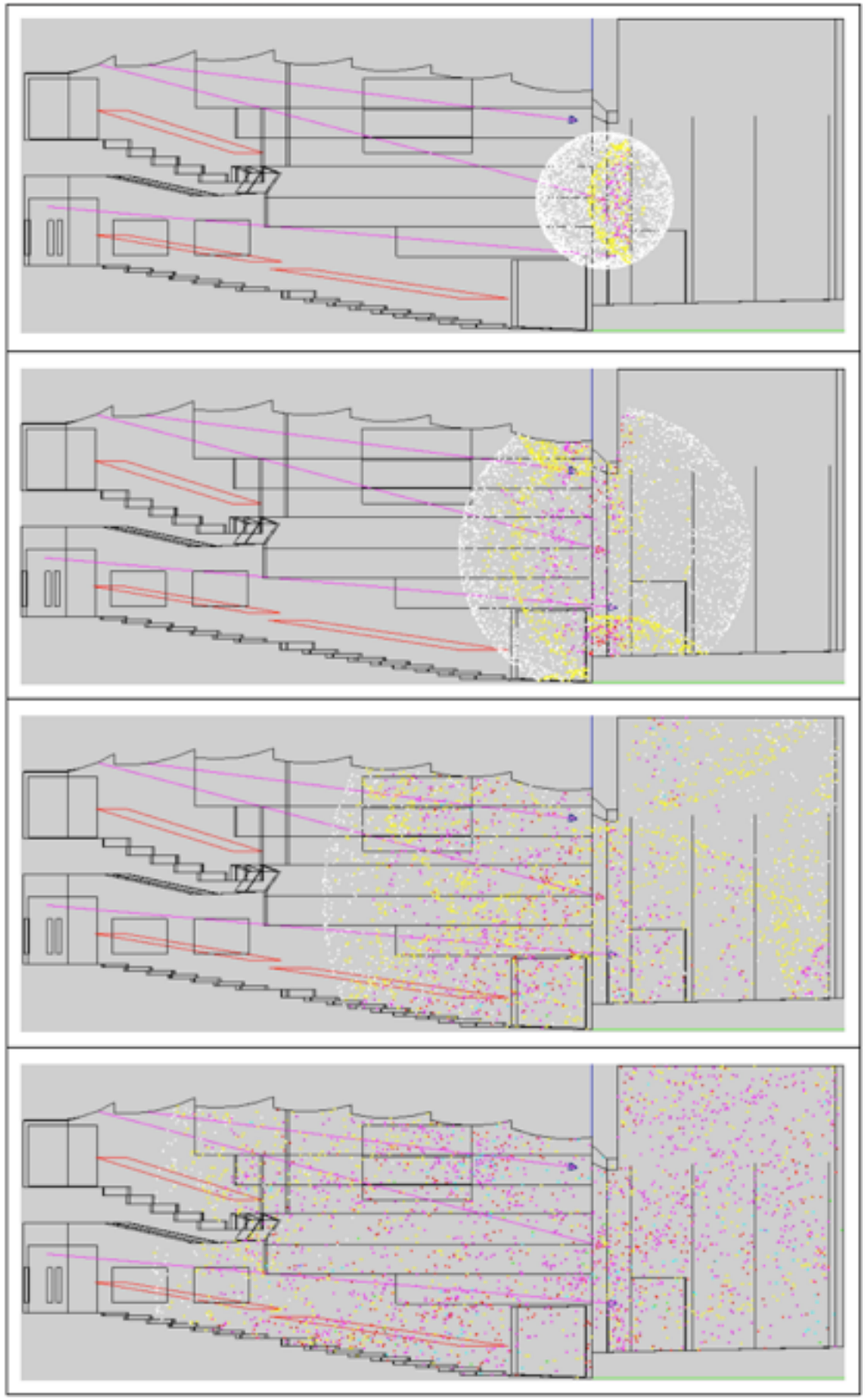
4. si eseguono le simulazioni più accurate al CAD acustico e si passa alle correzioni “fini” *(dopo aver simulato con precisione i coefficienti di assorbimento e diffusione delle superfici nuove)*

parametri	valori *(max medio min)*	distribuzione *(statistica %)*
STI *intelligibilità del parlato*		

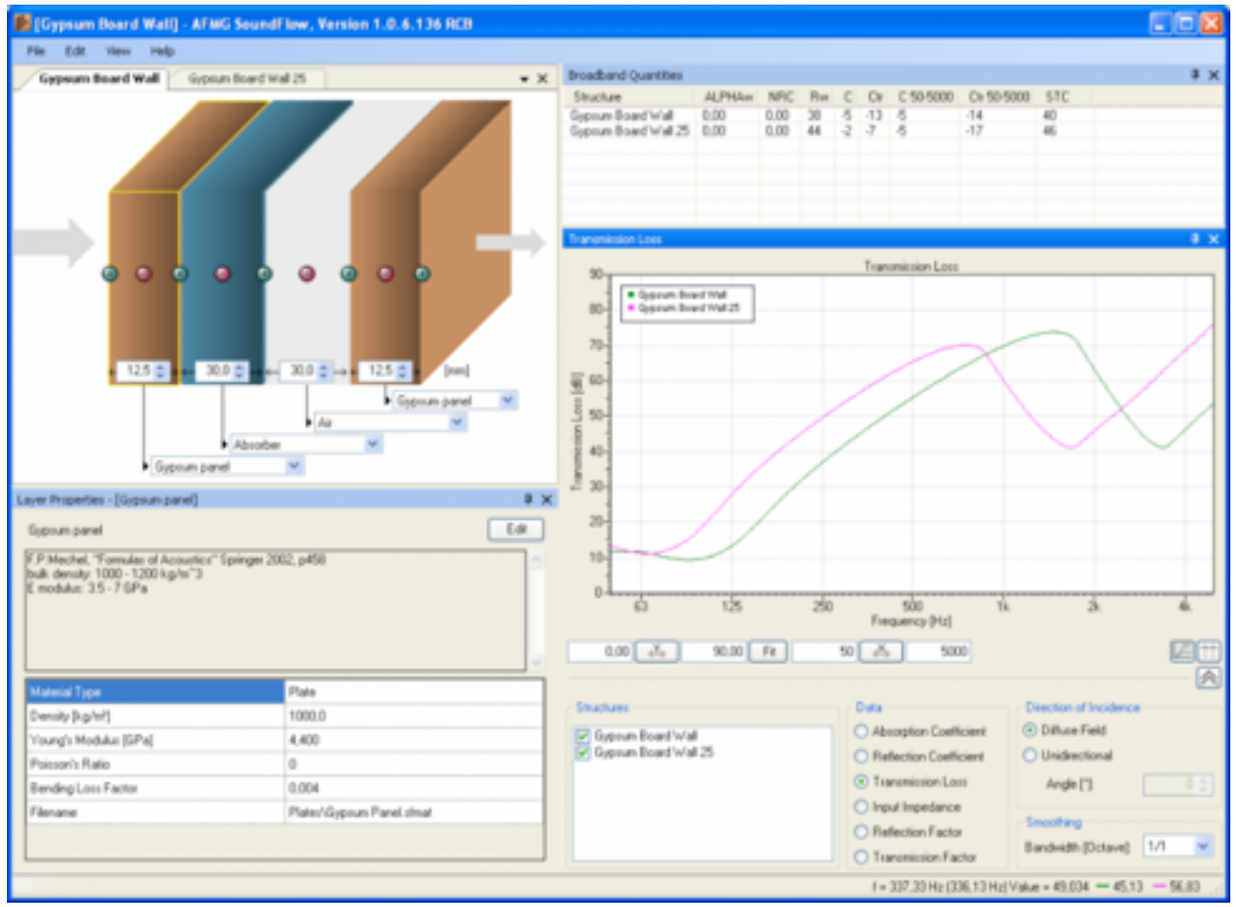


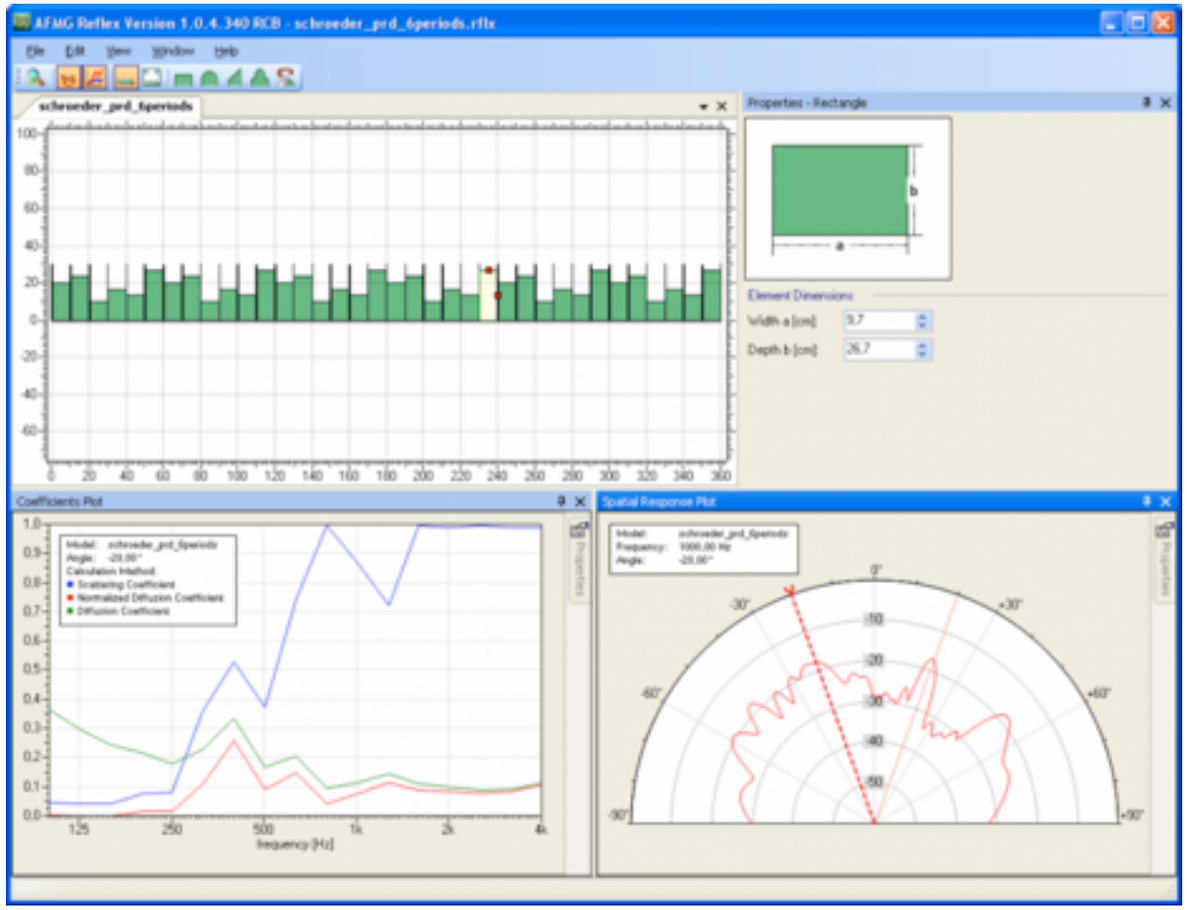






Simulare i coefficienti di assorbimento e diffusione





AFMG Soundflow

simula i coefficienti di assorbimento, riflessione e trasmissione per strutture composte da più strati (ad esempio materiali forati, a strisce, strati più o meno grandi o distaccati dalla parete)

AFMG Reflex

simula lo scattering acustico contro una superficie 2D e crea il diagramma polare e i coefficienti di diffusione da inserire in EASE

Considerazioni iniziali

sull'acustica dei piccoli ambienti

Nella comunità audio-pro è ormai assodato (*anche se molti addetti ai lavori non ne sono ancora al corrente!*) che la control-room debba essere un ambiente con caratteristiche acustiche più neutre possibili, ed in particolare, seguendo anche le linee guida AES (AESTD1001.1.01-10):

1. il tempo di riverberazione ottimale da 200 Hz in su dovrebbe assumere un valore di circa 0.25 s per sale di 100 m^3, e sulle basse frequenze può salire fino a circa 0.75 s; per sale più piccole (o più grandi) i valori ottimali si riducono (o allungano);
2. la risposta in frequenza dovrebbe essere più flat possibile, meglio se compresa tra ± 3 dB (anche se forse molti non sanno che la maggior parte delle casse considerate "professionali" hanno già un errore di ± 5 dB in camera anecoica!)
3. le prime riflessioni dovrebbero essere inferiori di almeno 15 dB dal suono diretto.

Standards and objectives

Reverberation time

1. il tempo di riverberazione ottimale da 200 Hz in su dovrebbe assumere un valore di circa 0.25 s per sale di 100 m^3, e sulle basse frequenze può salire fino a circa 0.75 s; per sale più piccole (o più grandi) i valori ottimali si riducono (o allungano);

$$T_m[s] \approx 0.25\left(\frac{V}{V_0}\right)^{1/3}$$

Reverberation time

T_m [s] = nominal value in region of 200 Hz to 4 kHz
V = listening room volume
V_0 = reference room volume (100 m^3)

$\approx 0.25\ (V/V_0)^{1/3}$
(Reverberation time decay and tolerance borders are shown in Figure 3.)

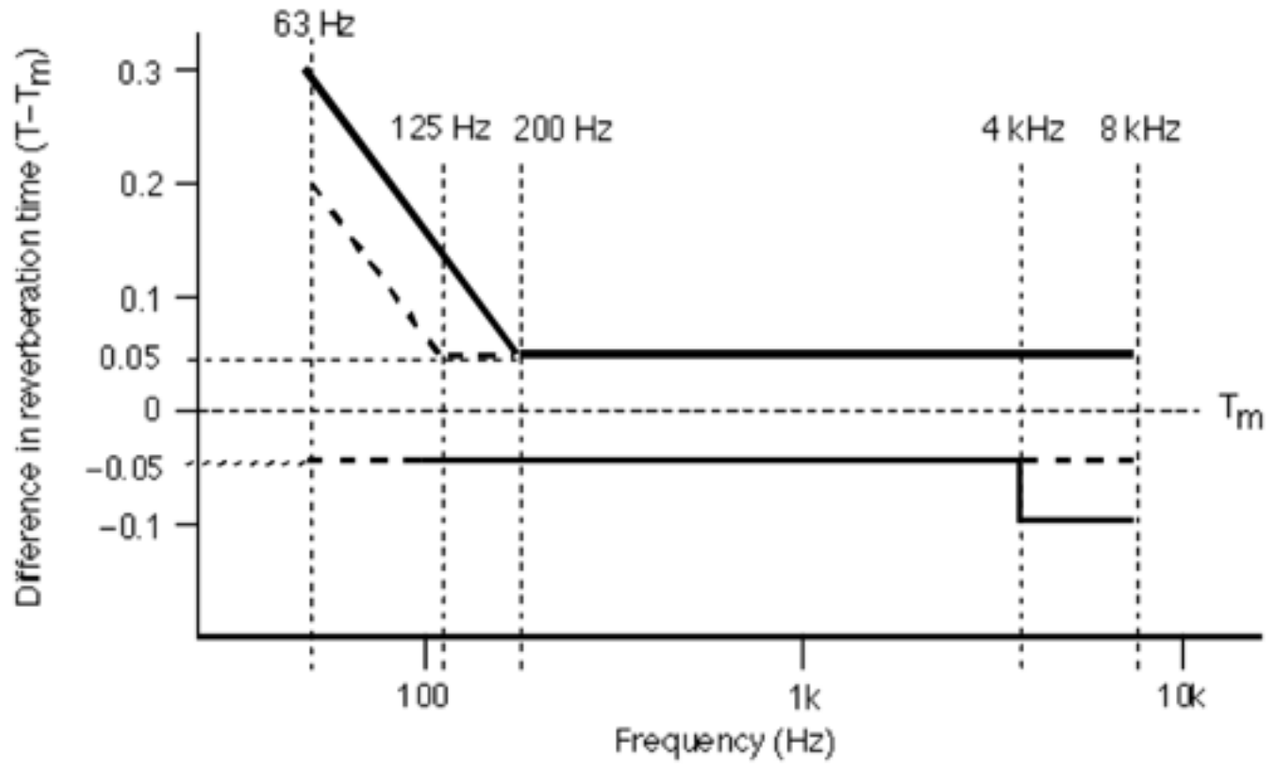


Figure 3. Tolerance mask for reverberation time, relative to arithmetic average value T_m. (Based on international recommendations, but extended to lower frequencies, with smaller tolerances in the range of 63–125/200 Hz.)

Standards and objectives

Frequency response

2. la risposta in frequenza dovrebbe essere più flat possibile, meglio se compresa tra ± 3 dB (anche se forse molti non sanno che la maggior parte delle casse considerate “professionali” hanno già un errore di ± 5 dB in camera anecoica!)

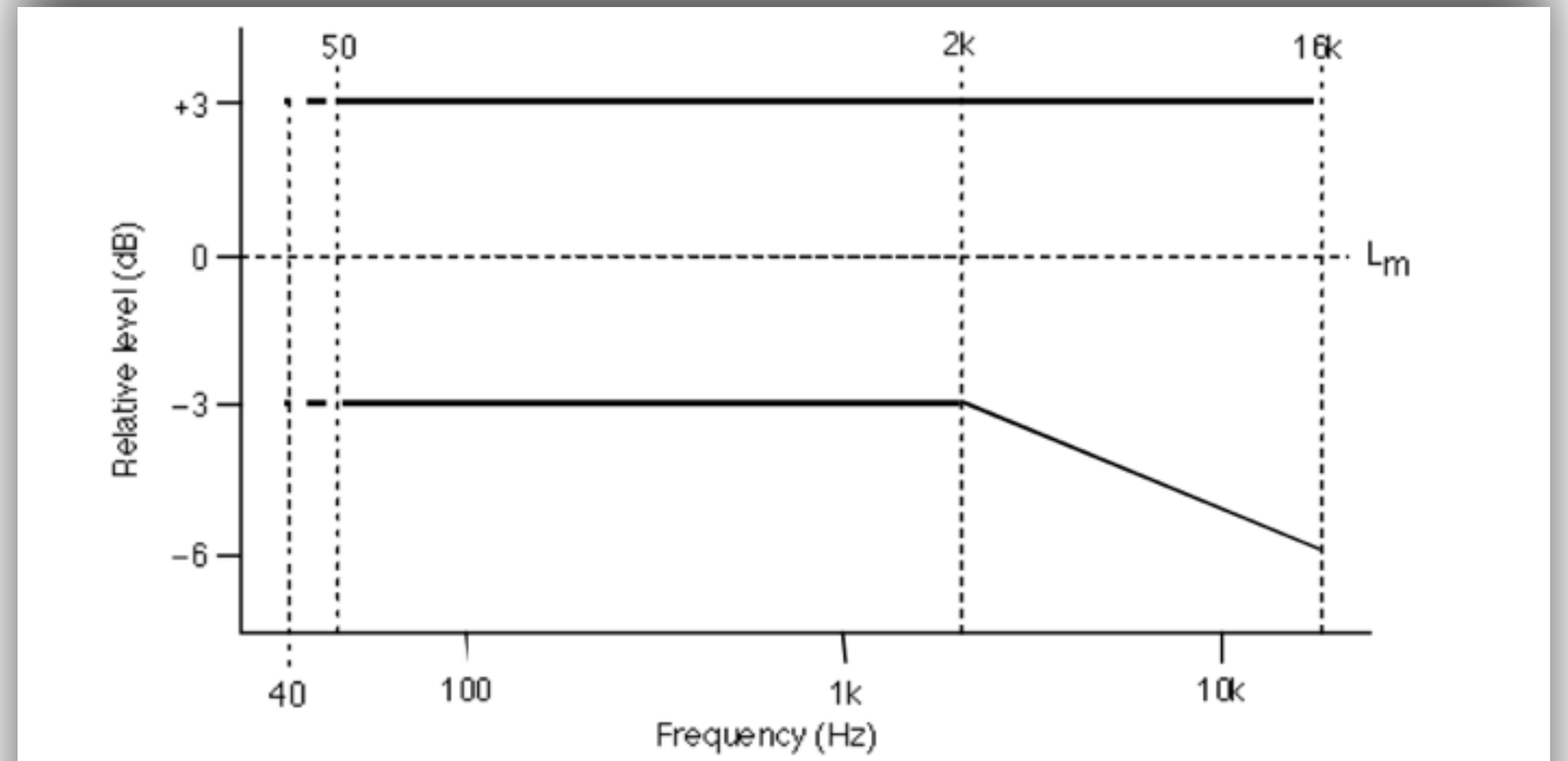


Figure 4. Tolerance limits of operational room response curve, relative level. (Based on international recommendations but extended to lower frequencies.)

Considerazioni iniziali

Cosa si guarda invece?

La prima cosa che guardano i fonici, sarà perché forse il suo grafico è anche più facilmente intuibile, è la **risposta in frequenza**. Purtroppo molti considerano soltanto questo parametro, non sapendo che, per sale non trattate, capita spesso che la risposta in frequenza sia piuttosto piatta (a parte un'enfatizzazione fisiologica delle basse frequenze, che si può facilmente correggere con un filtro roll-off o qualcosa di analogo, che generalmente hanno tutti i più famosi loudspeakers).

Il problema, in questo caso, è che, **pur avendo una risposta "abbastanza" flat non si ha una definizione sonora sufficiente per poter mixare, soprattutto alle basse frequenze**.

Il motivo è che la componente del suono diretto della cassa che giunge al punto d'ascolto, è "colorata" dalla componente del suono riflesso e riverberato dalla stanza. Chiaramente, il tempo di riverberazione gioca un ruolo fondamentale, e d'altro canto, se fosse particolarmente basso, renderebbe l'ascolto non confortevole e molto distante da qualsiasi ambiente "normale": ecco perché si fissano dei valori ottimali relativi a questo parametro.

ante operam

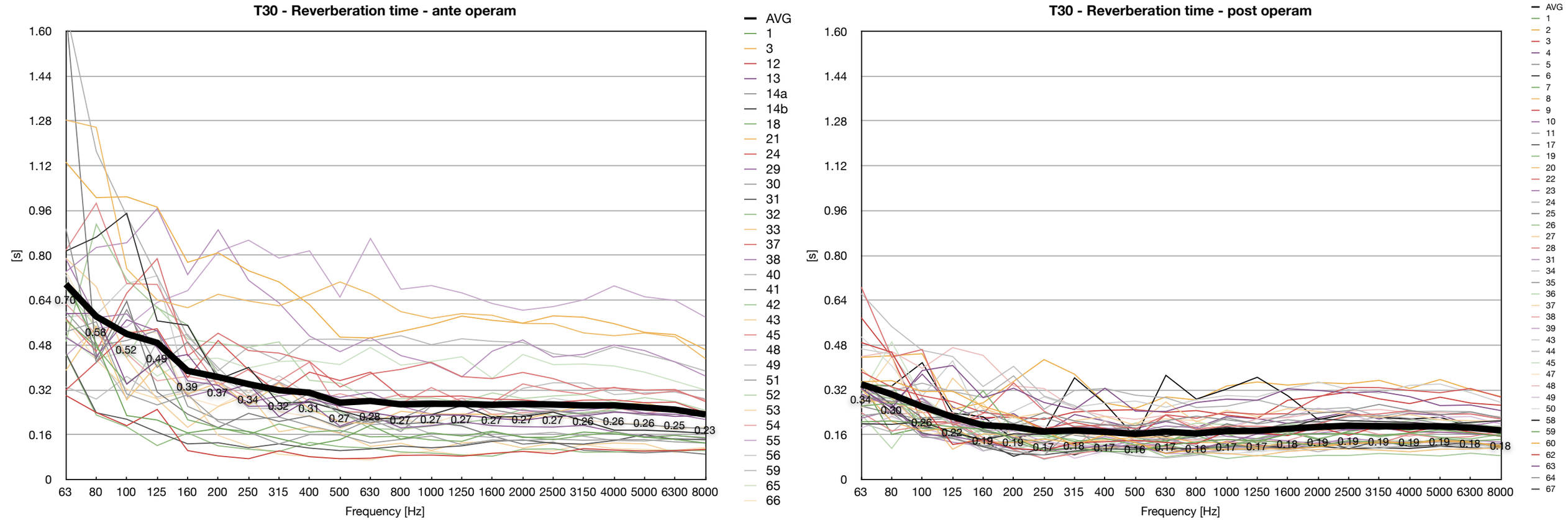
come sono gli studi che mi vengono presentati prima di un intervento?

- una piccola parte dei clienti mi propone **stanze assolutamente non trattate**;
- un'altra, più consistente, con **trattamenti auto-costruiti** effettuati con soluzioni varie viste su internet, ma che spesso non coinvolgono in modo corretto le basse frequenze;
- infine, la grande maggioranza tratta i loro ambienti semplicemente con pannelli fonoassorbenti piramidali, o similari.

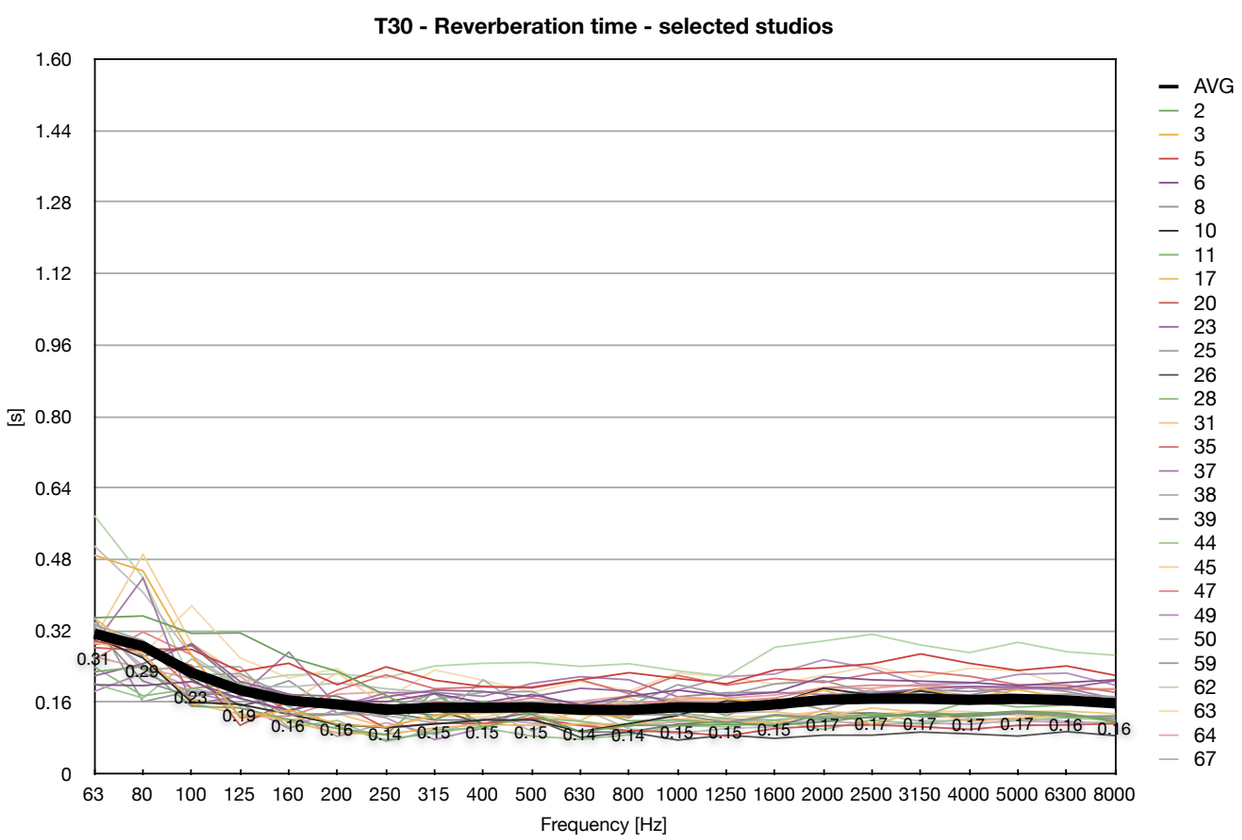
Quello che ne consegue è che **queste sale sono particolarmente colorate in frequenza**, ottenendo il contrario di quello che si richiede ad uno spazio del genere, ossia la **neutralità**.

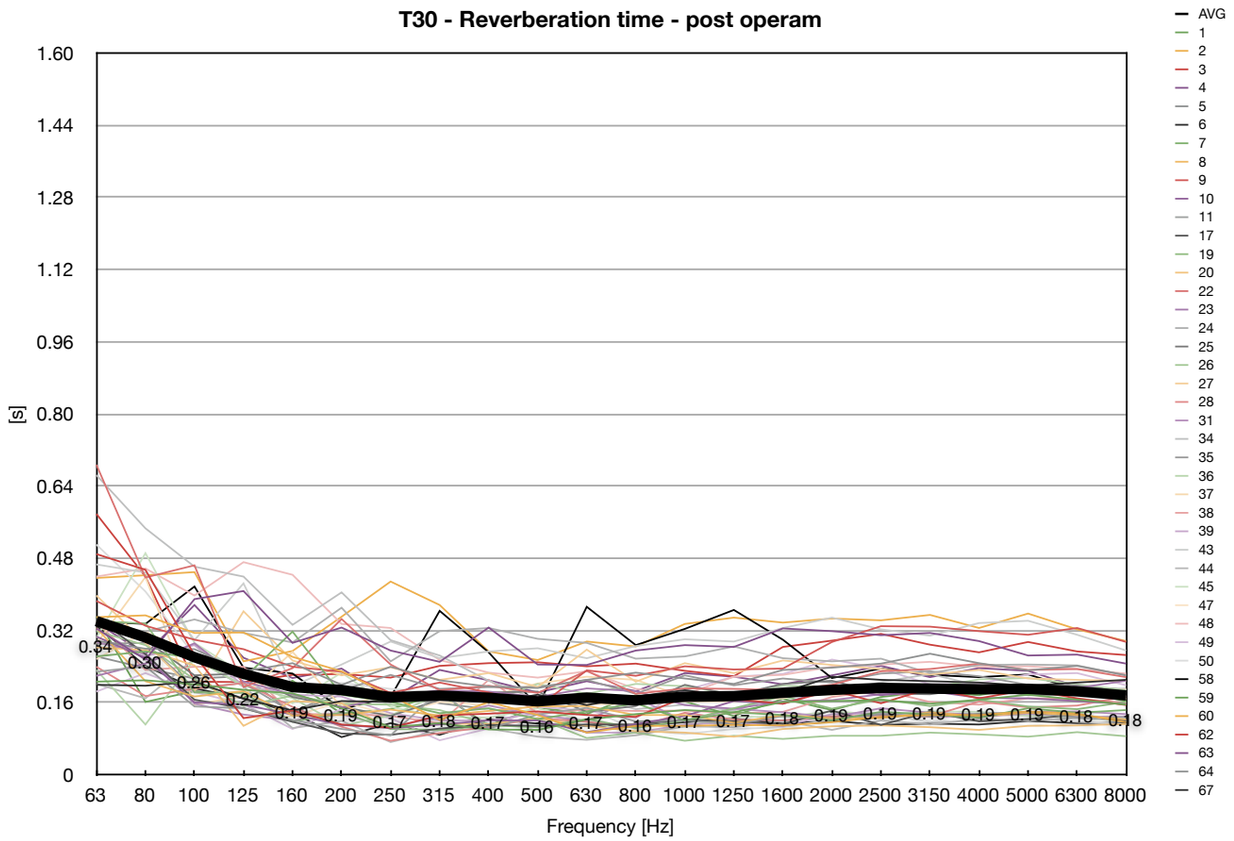
Tempi di Riverberazione

Ante operam vs post operam



- Come si vede dal grafico dei tempi di riverberazione ante-operam (fig. 1), il livello medio è sopra il valore ottimale, considerando che le sale analizzate hanno un volume medio di circa 60 m^3, ma il dato più importante è che la **varianza** dei valori è molto elevata, soprattutto nel range delle basse frequenze.





Nel grafico dei tempi di riverberazione post-operam (destra) si nota che:

- vi è un abbattimento sostanziale dei tempi, soprattutto quelli a bassa frequenza;
- il valor medio @ 63 Hz è 2 volte circa il valore @ 500 Hz, mentre prima era 3 volte;
- la varianza dei valori è notevolmente ridotta, rimangono fisiologiche discrepanze (leggere) tra studi di dimensione differente;
- non ci sono studi con tempi di riverberazione superiori a 0.65 s @ 63 Hz.

Per sale selezionate in base alla qualità d'ascolto soggettiva (sinistra), questo trend è ancora più evidente.

Come traspare dalle linee guida AES, e come si vede anche dai grafici:

i valori ottimali del tempo di riverberazione sono relativi al volume della stanza.

Quindi non si può rispondere alla domanda:

“che tempo di riverberazione deve avere una control-room?”

senza saperne il volume, perché in realtà **l’aspetto che è più legato alla definizione del suono è la percentuale dell’energia sonora diretta rispetto a quella riverberata che giunge all’ascoltatore**.

Per i motivi esposti, ho ritenuto interessante studiare l’acustica delle control-room con dei parametri di tipo “energetico”, che si utilizzano generalmente in acustica architettonica (teatri, auditorium etc.) e definiti dalla normativa **ISO3382**, di cui però non sono presenti dei valori ottimali in letteratura relativi agli studi di registrazione (o gli ambienti di ascolto critico).

Parametri energetici classici sono la C50/80 (Clarity) o la D50 (Definition), ma sono stati ideati per i grandi ambienti, dove è necessario “rafforzare” le prime riflessioni per “amplificare” il suono diretto di una sorgente, e non sono adatti a una sala di ascolto critico dove invece, solitamente, si “uccidono” le prime riflessioni che tendono a colorare il suono diretto (e poi presentano una notevole varianza tra posizioni non lontane…!).

Tra i parametri energetici invece mi sembra molto interessante l’analisi del **tempo baricentrico Ts.**

tempo baricentrico

definizione operativa

Il tempo baricentrico (Ts) esprime

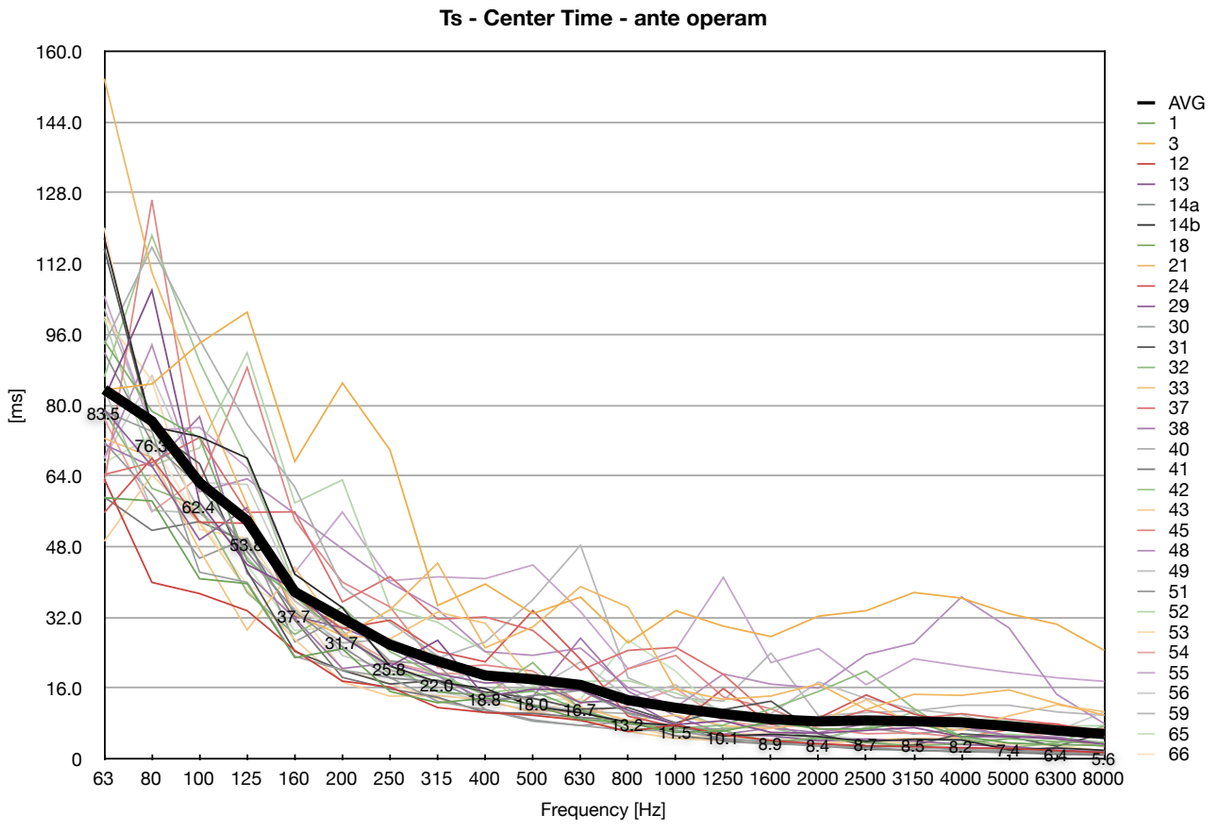
il tempo dopo il quale l'energia arriverebbe al punto di misura se fosse "impacchettata" in una singola riflessione.

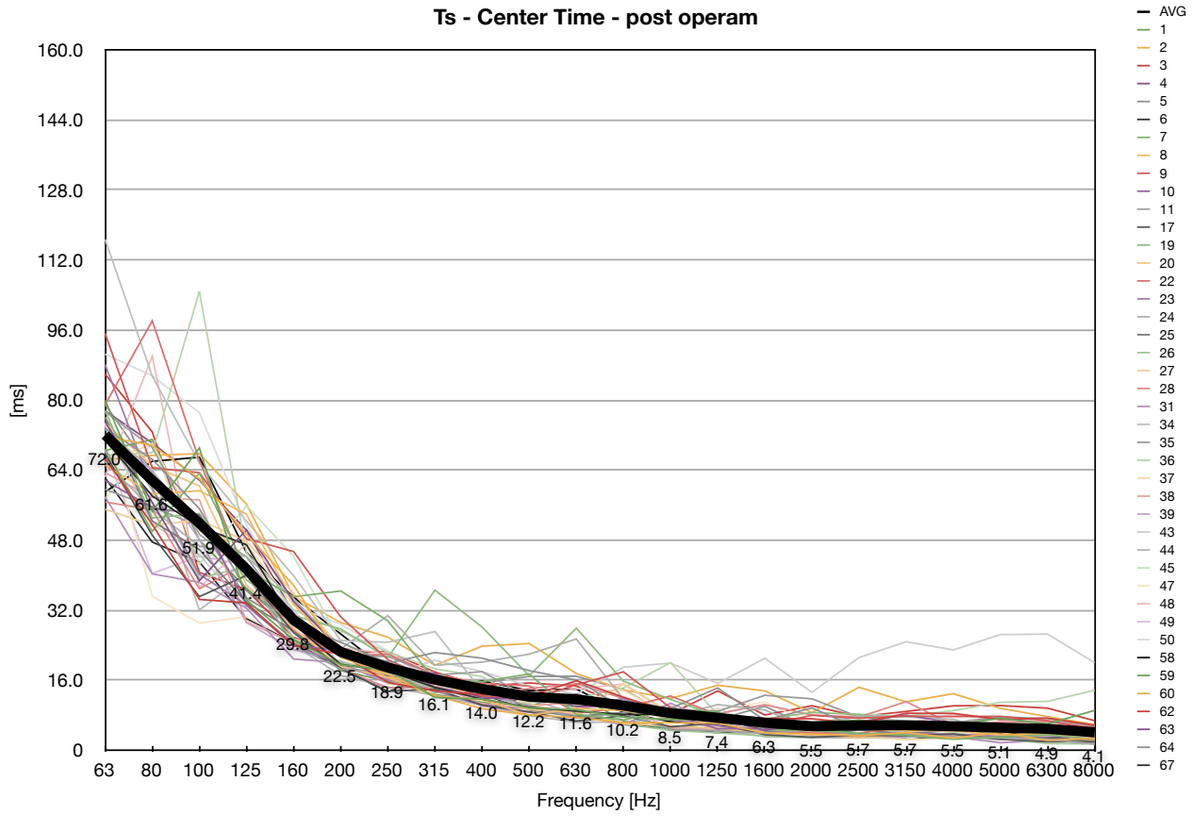
La cosa notevole è che questo parametro assume valori molto simili per gli studi trattati, e ancora più simili per studi "selezionati" tra quelli che "suonano meglio". Nessuna variazione sostanziale relativa al volume della stanza: quindi è un parametro, a mio parere, assoluto, che determina dopo quanto tempo si preferisce l'arrivo dell'energia sonora media alle varie frequenze.

Nei grafici che mostreremo nelle prossime slide si nota come questo parametro, per sale più corrette acusticamente, tenda ad un valore medio, indipendentemente dal volume della sala stessa.

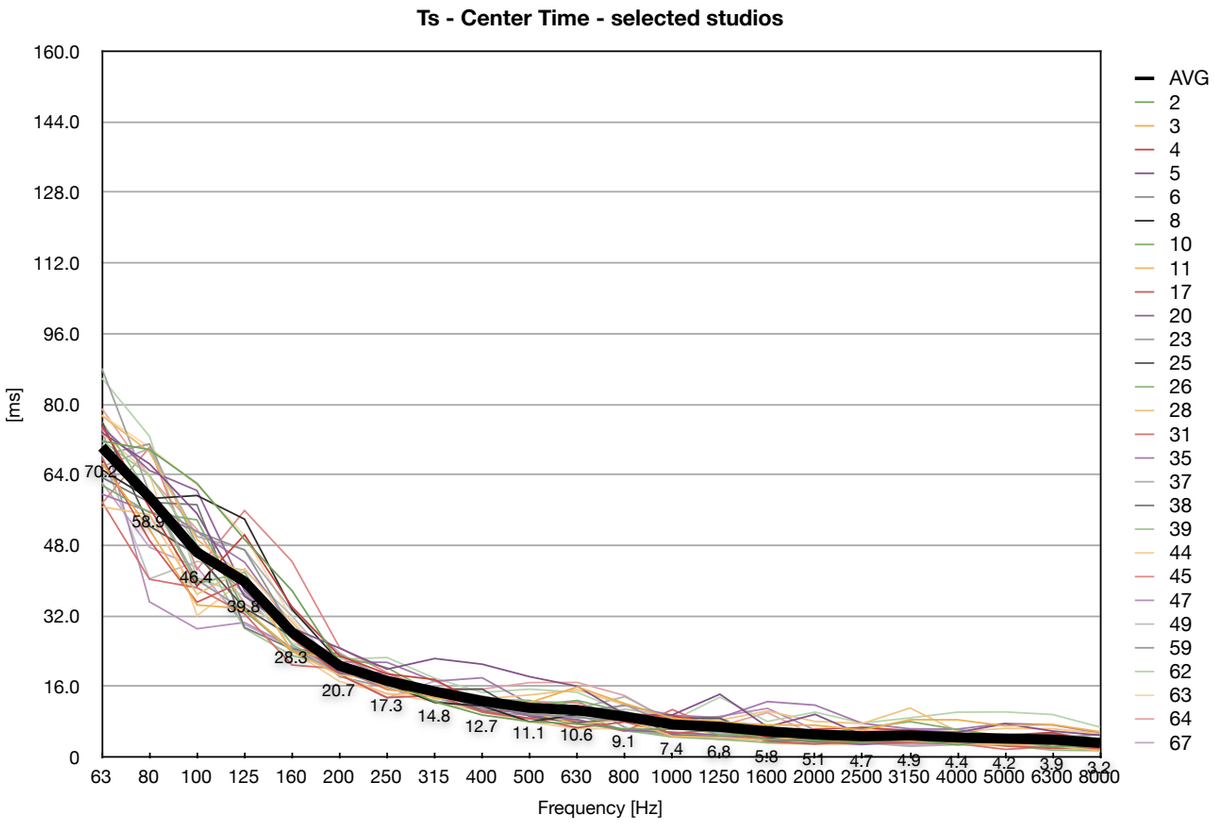
Tempo baricentrico

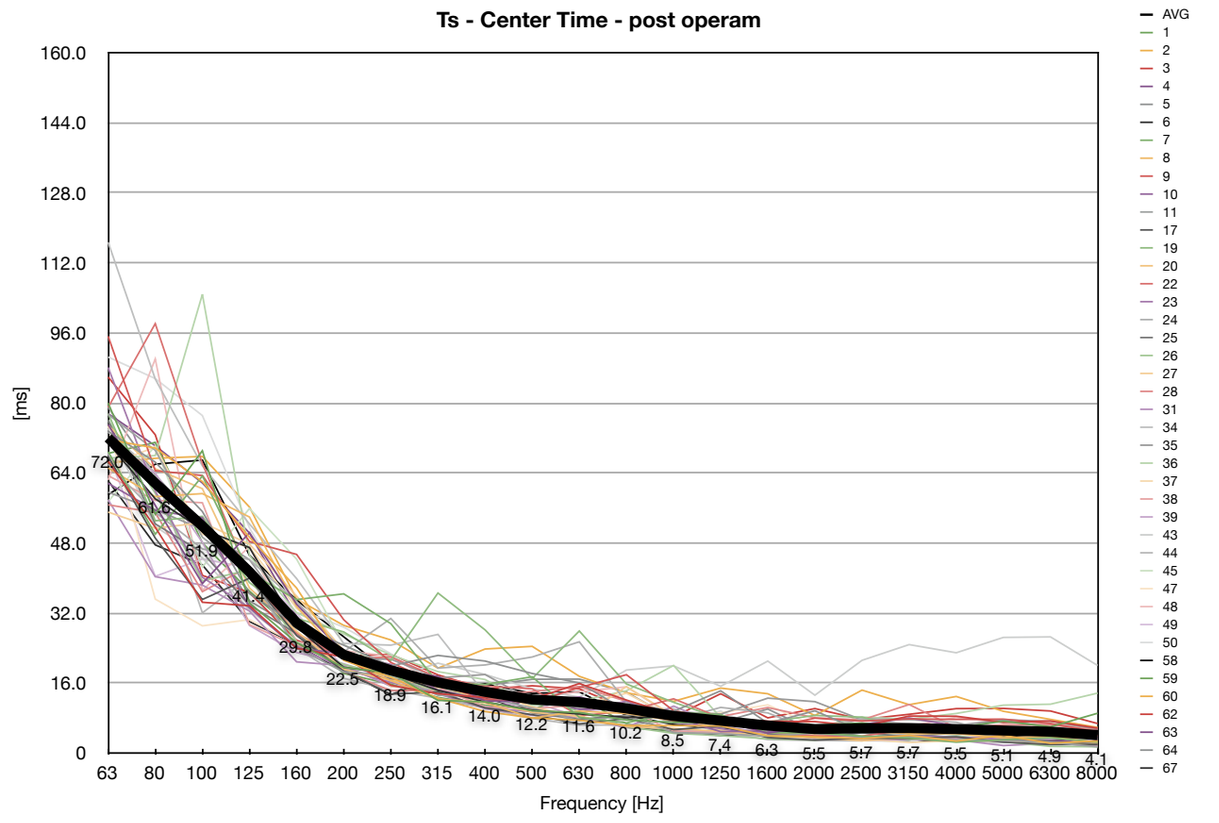
Ante operam vs post operam





- Come si vede dal grafico dei tempi di riverberazione ante-operam (fig. 1), il livello medio è sopra il valore ottimale, considerando che le sale analizzate hanno un volume medio di circa 60 m^3, ma il dato più importante è che la **varianza** dei valori è molto elevata, soprattutto nel range delle basse frequenze.





La cosa notevole è che questo parametro assume **valori molto simili** per gli studi trattati, e ancora più simili per studi “selezionati” tra quelli che “suonano meglio”.

Nessuna variazione sostanziale relativa al volume della stanza: quindi è un parametro, a mio parere, assoluto, che determina dopo quanto tempo si preferisce l’arrivo dell’energia sonora media alle varie frequenze.

Prima parte di miti sfatati

1-4: i problemi principali sono alle basse frequenze!!!

1. *non si può mixare/ascoltare in stanze troppo grandi, troppo piccole, col soffitto alto, col soffitto basso, ...: dove bisognerà mai mixare?!?*

Gli ambienti possono essere di **varia dimensione**, basta che il tempo dopo il quale giunge l'energia sonora media al punto d'ascolto, sia in linea con i risultati di Ts osservati.

Le stanze piccole comunque rimangono problematiche per le onde stazionarie concentrate in un range contenuto di frequenze e spesso provocano nel parametro Ts dei picchi indesiderati.

2. *bastano dei "pannelli" per rendere una sala acusticamente corretta;*

Falso! perché per effettuare una correzione acustica efficiente full-range si deve utilizzare veramente una grande quantità e spessore di materiale assorbente (o altri dispositivi risonanti ma molto più difficili da gestire), tale da lavorare bene a bassa frequenza: gli spessori dei pannelli rimovibili non sono adeguati allo scopo.

3. *non mi piace l'ascolto col sub-woofer;*
4. *alcune casse suonano "troppo" bene per poter essere utilizzate nel mix;*

Il punto 3. e 4., secondo me, derivano semplicemente dal fatto che spesso si hanno sale così "colorate" da portare l'utente ad apprezzare meglio casse che non scendano così in basso in frequenza. Uno dei motivi per cui non piace a molti l'ascolto col subwoofer è proprio questo, unito anche al tempo di rilascio del sub stesso, che, in alcuni casi, è troppo lungo e può andare ad inficiare sui valori del Ts, allungandoli a bassa frequenza.

Neutral room

Strumenti:

Amplificatori: basso, chitarra, etc

Strumenti singoli acustici

Strumenti singoli elettrici

voci: voci singole cantate e parlate (anche doppiaggi con acustica variabile), cori, ensamble di voci

RT60:

0.10 ÷ 0.25 s

Altre caratteristiche:

suono “dead” ma neutro

brillantezza del suono

diffusione del suono

controllo delle basse

minimizzati i flutter-echo

prime riflessioni

House of Glass @ Viareggio (LU)

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

Officina Sonora del Bigallo @ Bagno a Ripoli (FI)

Sale di media dimensione

Strumenti:

ensamble rock: basso, chitarra, batteria, tastiere, voce

ensamble jazz: contrabbasso, batteria, pianoforte, fiati, voce

piccole orchestre: quartetti d'archi, piccoli ensamble di fiati e archi

voci: voci singole cantate e parlate (anche doppiaggi con acustica variabile), cori, ensamble di voci

RT60:

0.2 ÷ 0.5 s

Altre caratteristiche:

brillantezza del suono

diffusione del suono

controllo delle basse

acustica variabile con pannelli girevoli/spostabili

minimizzati i flutter-echo

prime riflessioni

Audacia Records @ Avezzano (AQ)

House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

Tube Studio @ Fiano Romano (RM)

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

Officina Sonora del Bigallo @ Bagno a Ripoli (FI)

Sale grandi (orchestrali)

Strumenti:

piccole e grandi orchestre

ensamble rock: basso, chitarra, batteria, tastiere, voce

ensamble jazz: contrabbasso, batteria, pianoforte, fiati, voce

voci: voci singole cantate (con ambiente), cori, ensamble di voci

RT60:

0.6 ÷ 1.1 s

Altre caratteristiche:

grande spazialità

diffusione del suono

brillantezza del suono

acustica variabile con pannelli girevoli/spostabili

colorazione del riverbero tipica da sala a sala

International Sound @ Conversano (BA)

International Sound @ Conversano (BA)

International Sound @ Conversano (BA)

Sudestudio @ Guagnano (LE)

Sudestudio @ Guagnano (LE)

V Posizionamento delle sorgenti (strumenti e casse)

Regie: interazione delle casse con la stanza.

1. Flush mount: per i big monitor…
   - montaggio a incasso nel muro vero (cemento o muratura piena)
   - multilayered baffle (MDF, cartongesso, piombo, etc.);
2. No flush mount: posizionarle vicino al muro davanti;
3. Con sub-woofer: posizionare il sub-woofer vicino al muro davanti e poi si possono muovere i satelliti più avanti verso il punto d'ascolto.

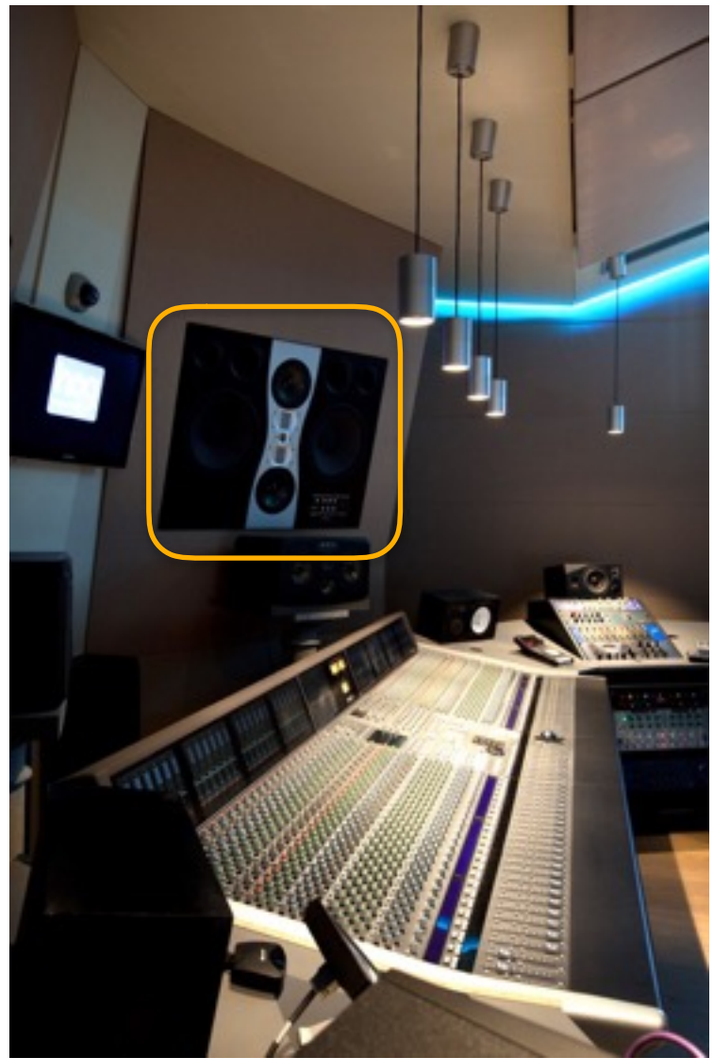
Sale Ripresa: Interazione degli strumenti e degli ensemble con la sala. Dipende dalla grandezza delle sale e dagli strumenti.

Loudspeakers in a room

Maledetti big monitor flush-mounted!

I Big monitor o in generale le casse grosse incassati a muro hanno realmente qualche pro?!?

In realtà, dal punto di vista tecnico, i design più utilizzati per gli studi di registrazione (*Non-Environment, LEDE, RFZ*) non solo li prevedono, ma basano tutta la loro teoria su questi, e soprattutto sul loro montaggio (*flush-mount*), mentre per i nearfield e i monitor free-standing in generale si accettano numerosi compromessi.



Per questo motivo, sono giunto alla conclusione (!) che molti dei fonici scontenti dei big monitor lo siano soltanto perché sono ormai **abituati** a lavorare soltanto con nearfield posizionati al massimo a 1.70 m dalla loro posizione d'ascolto oppure perché sono stati "scottati" dall'ascolto di big monitor non ben montati e posizionati, e questo, purtroppo, succede più spesso di quanto si pensi.

perché si odiano i Big Monitor?

Maledetti big monitor flush-mounted!

1. motivo storico o generazionale?
   - I fonici più giovani cresciuti nel proprio home-studio (che non ha un sistema d'ascolto con molti compromessi) non sentono il bisogno di cambiare il loro modo di lavorare.
   - I big monitor degli anni 70' e 80' non potevano essere fedeli a basse pressioni sonore, quindi molti fonici preferivano usare dei monitor più piccoli che riuscissero a farli lavorare senza affaticarsi per più ore di seguito. Questo potrebbe essere stato il motivo per cui i nearfield presero piede, poi le stanze divennero sempre più piccole e in molti casi erano l'unica soluzione.

Ora questo problema non esiste più perché i big monitor (o almeno i migliori) sono sicuramente molto fedeli anche a basse pressioni sonore.

In più, per rendere fullrange un sistema con near-field, si deve obbligatoriamente aggiungere un sub-woofer: è molto interessante vedere come molti fonici odino questa configurazione, e in molti casi mi sento di dargli ragione, perché se la fase e il livello del sub non sono calibrati perfettamente rispetto al resto del sistema, è sicuramente meglio non avere il sub!

perché si odiano i Big Monitor?

Maledetti big monitor flush-mounted!

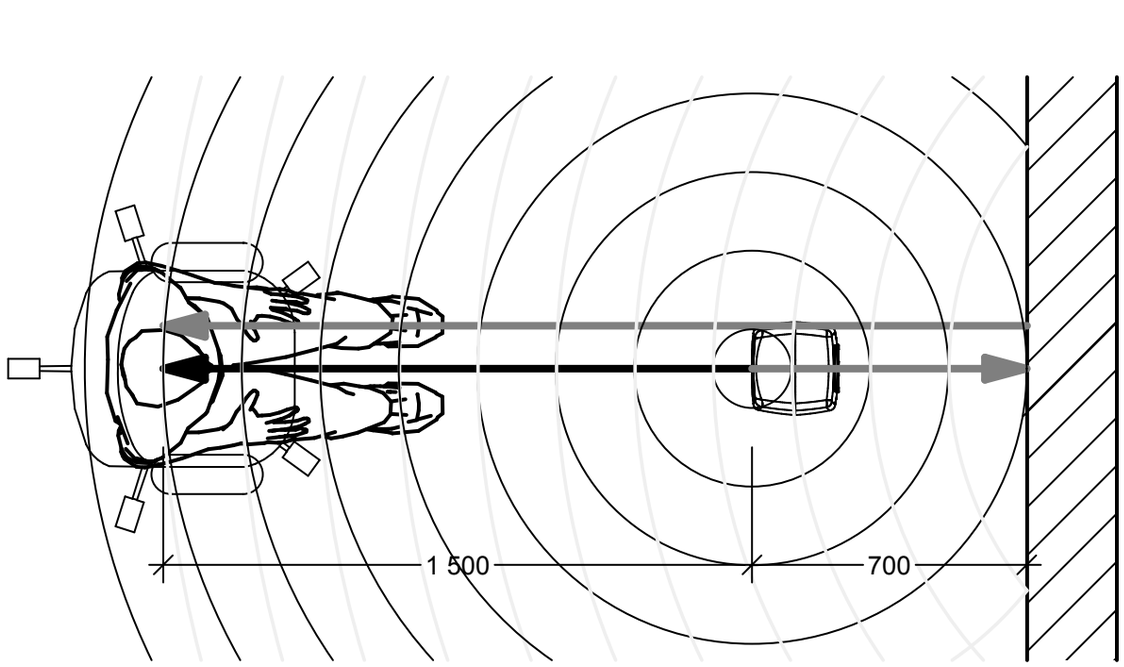
2. motivo più tecnico?
   - una cassa che si spinge più in basso in frequenza, è sicuramente più difficile da gestire.

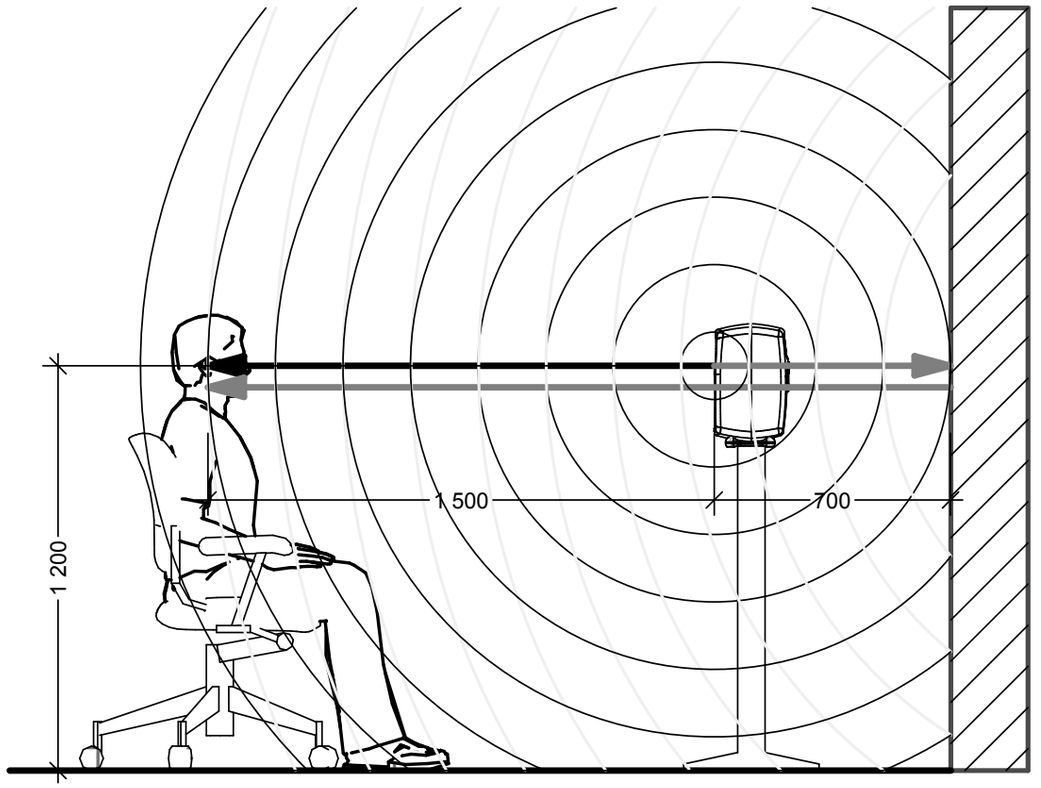
Per me è veramente molto difficile, per non dire impossibile, avere un ascolto soddisfacente con i big monitor senza che siano montati in modo corretto a muro (con flush-mount).

Materiali più pesanti sono meglio di quelli leggeri per il montaggio ad incasso per evitare:

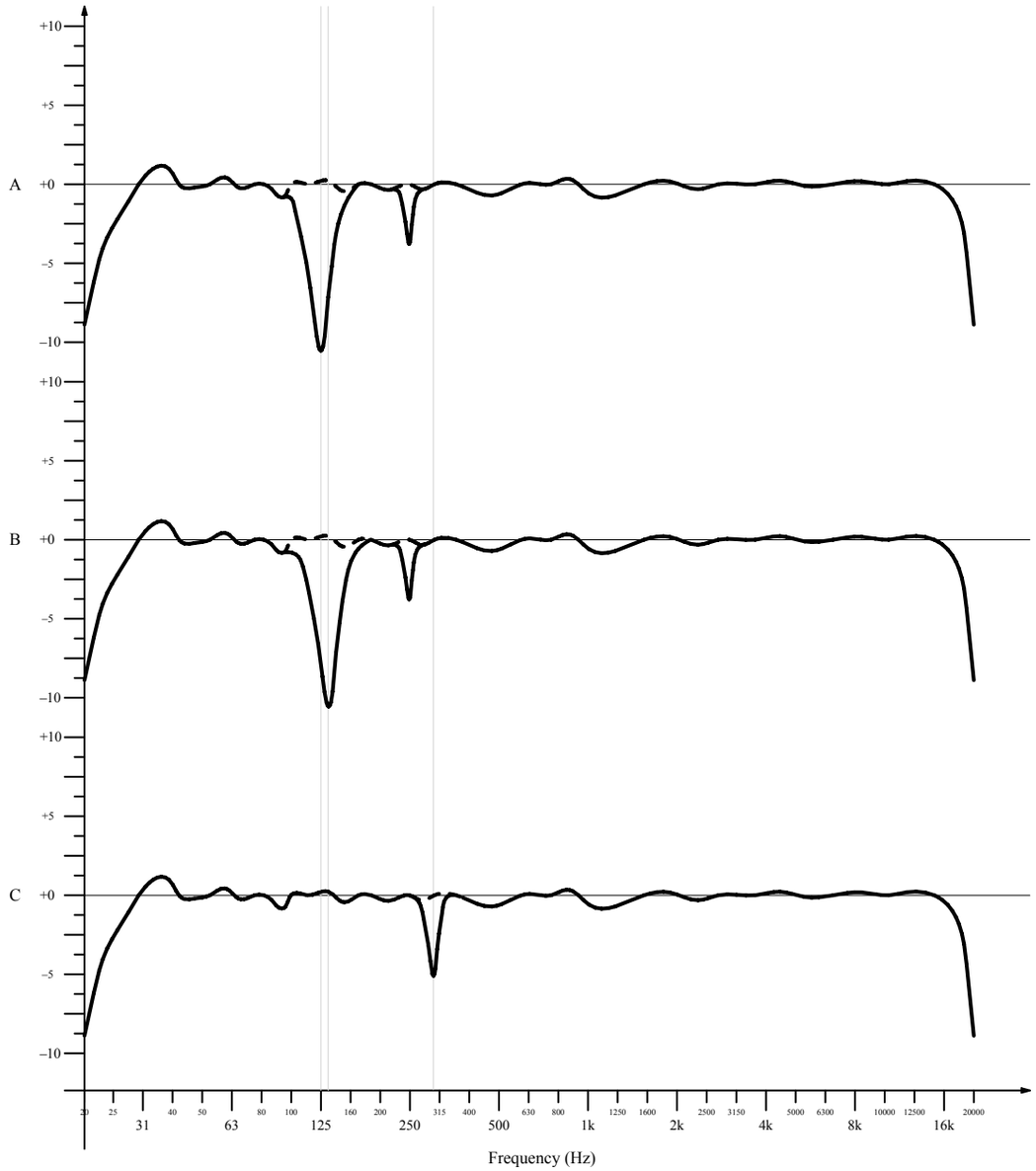
- i problemi della phantom mono image;
- le risonanze degli strati di incasso;
- l'interazione con le altre pareti lontane dalla sorgente (non minimum phase effects)

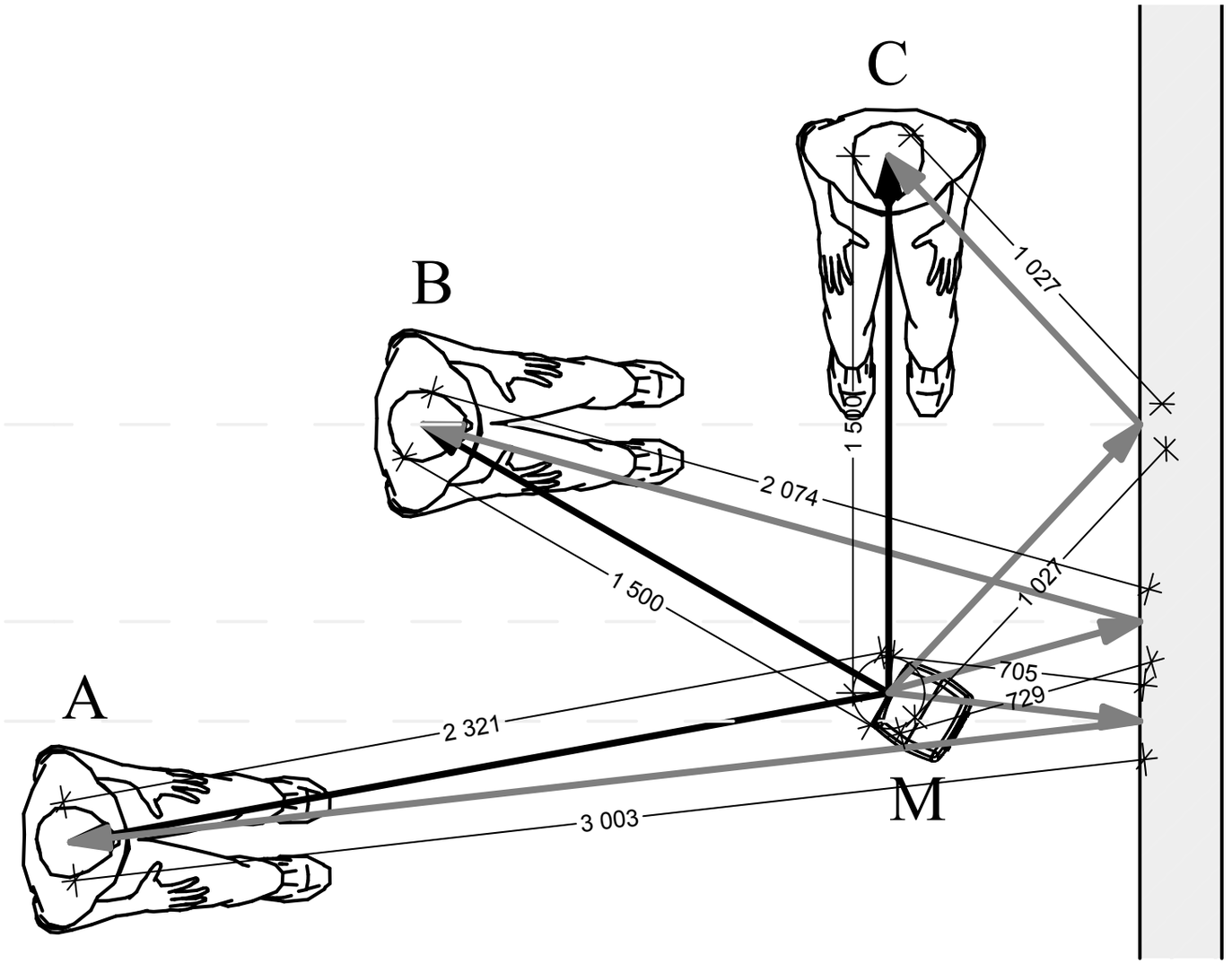
Minimum and non-minimum phase effects



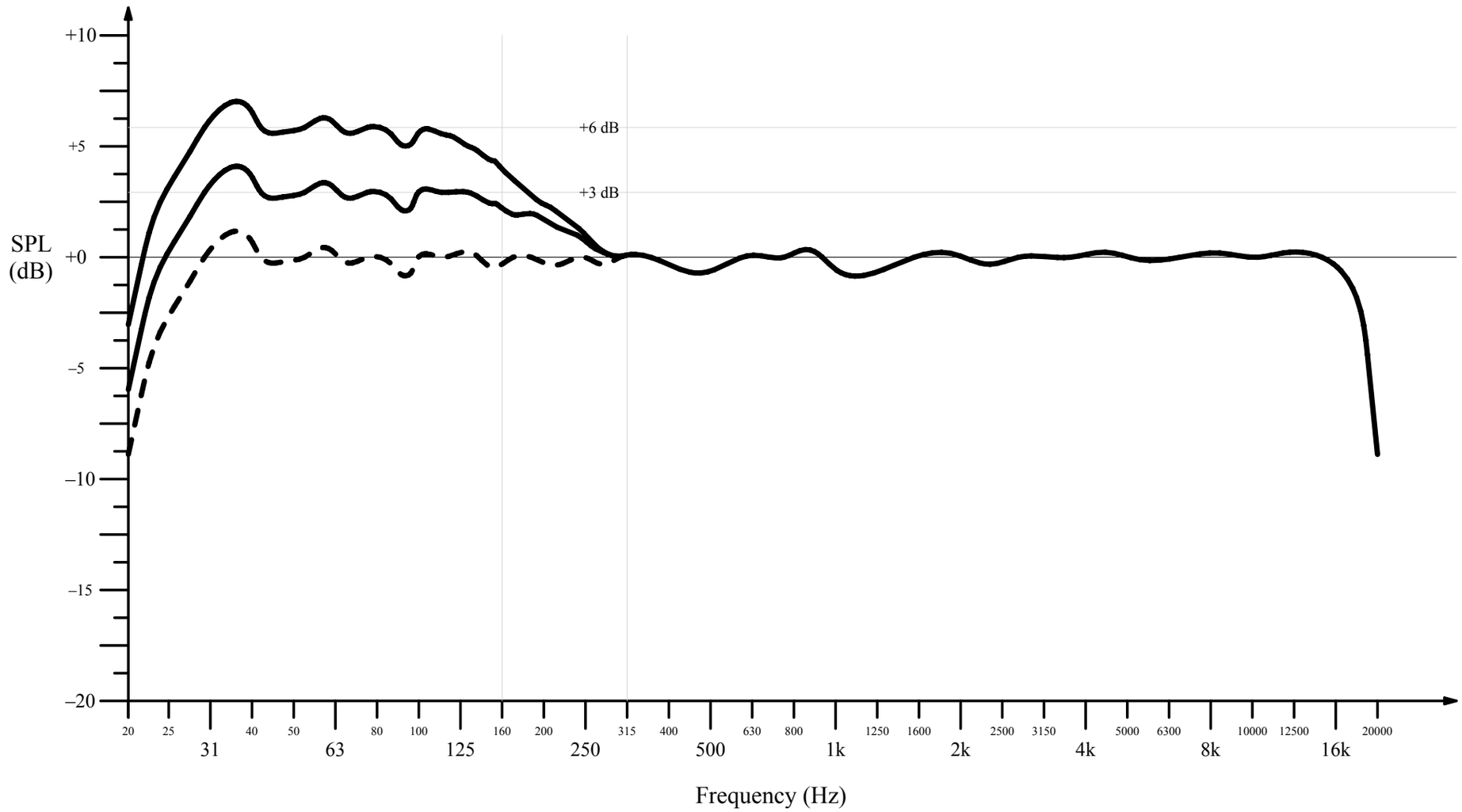


Non-minimum phase effects



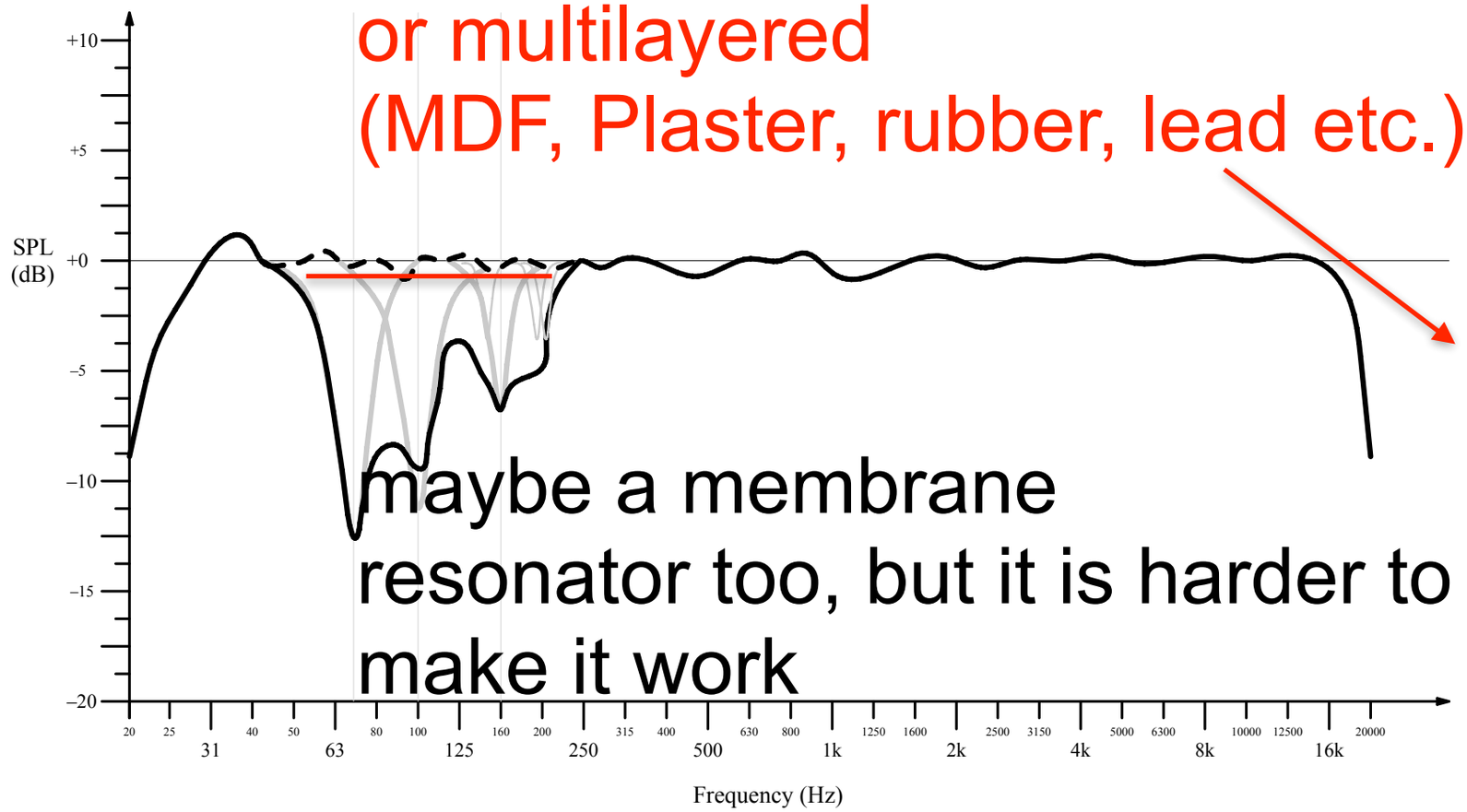


Minimum phase
low frequency boost

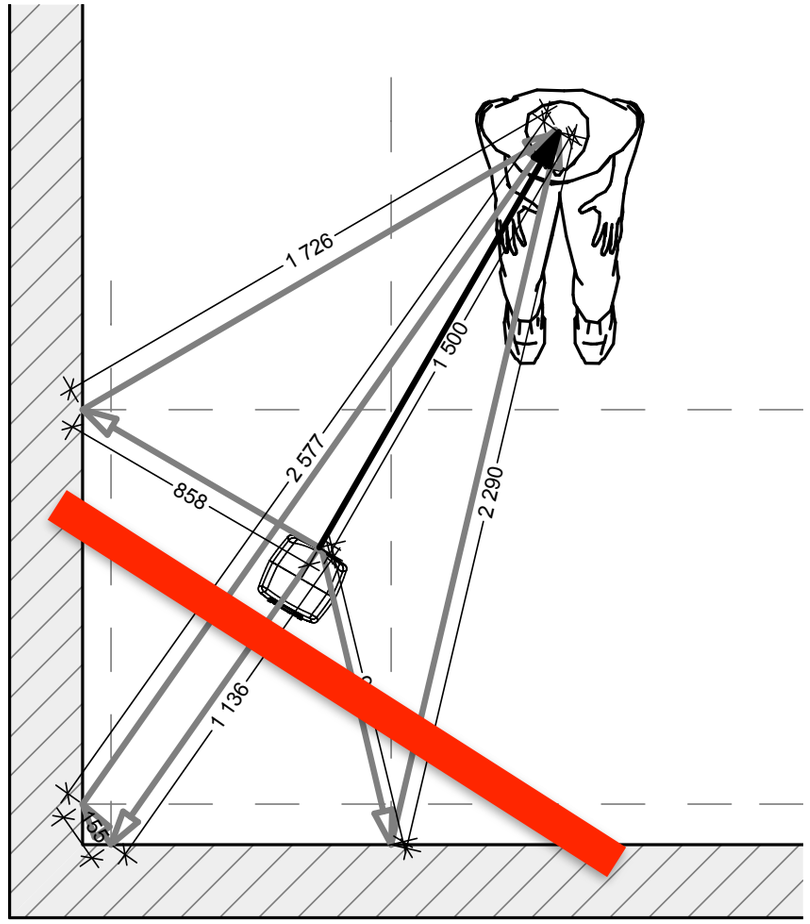


Corners

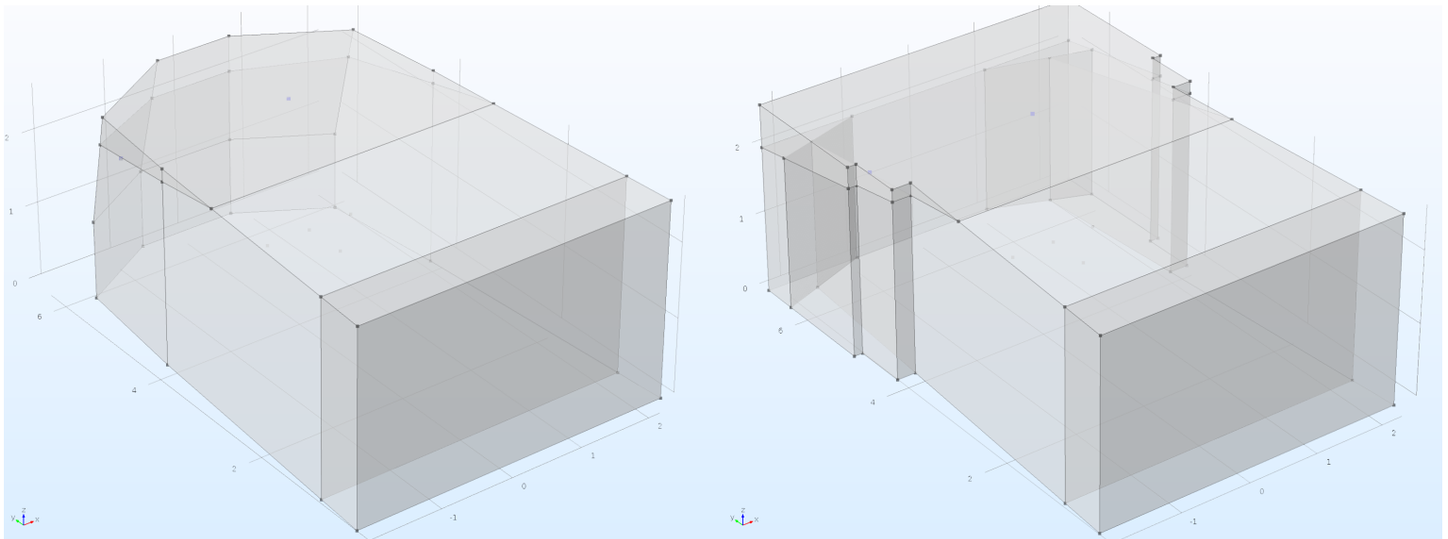
Solid (concrete, masonry)
or multilayered
(MDF, Plaster, rubber, lead etc.)

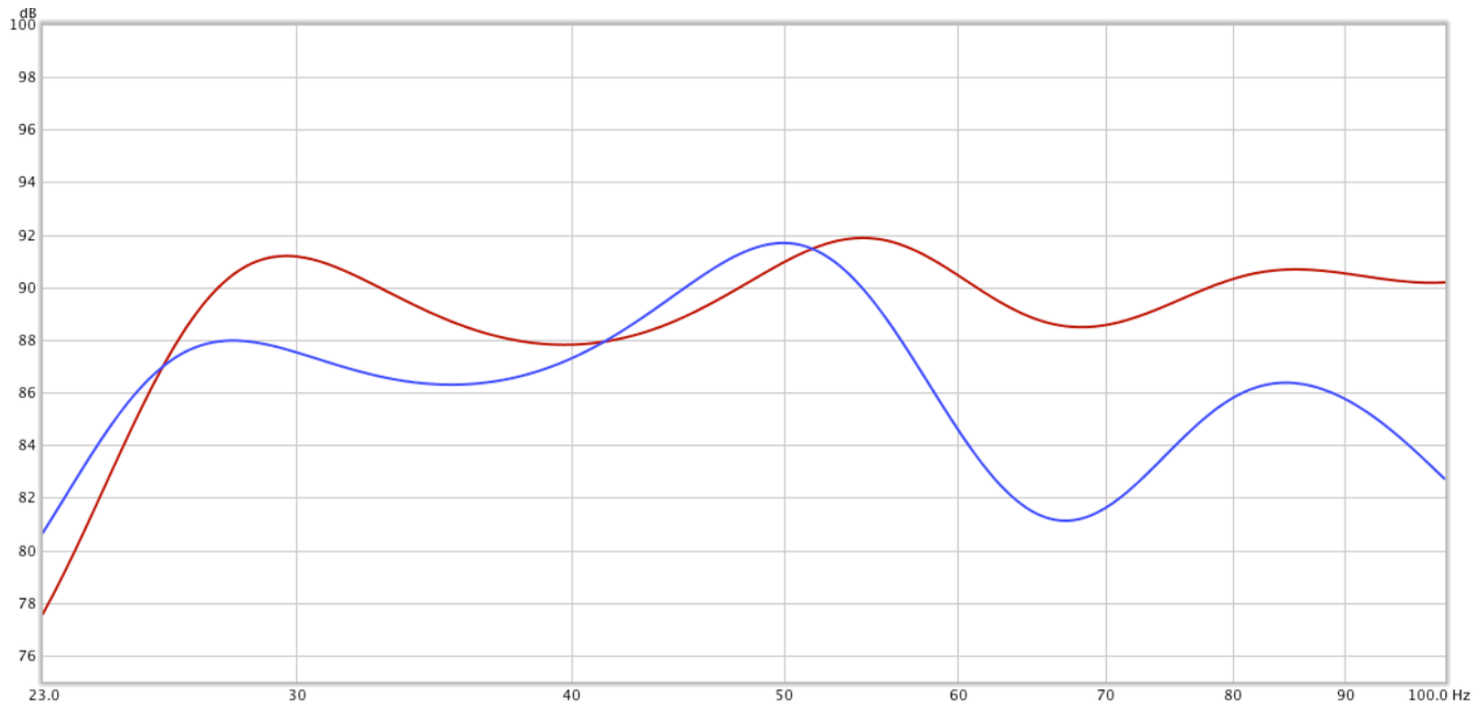


maybe a membrane
resonator too, but it is harder to
make it work



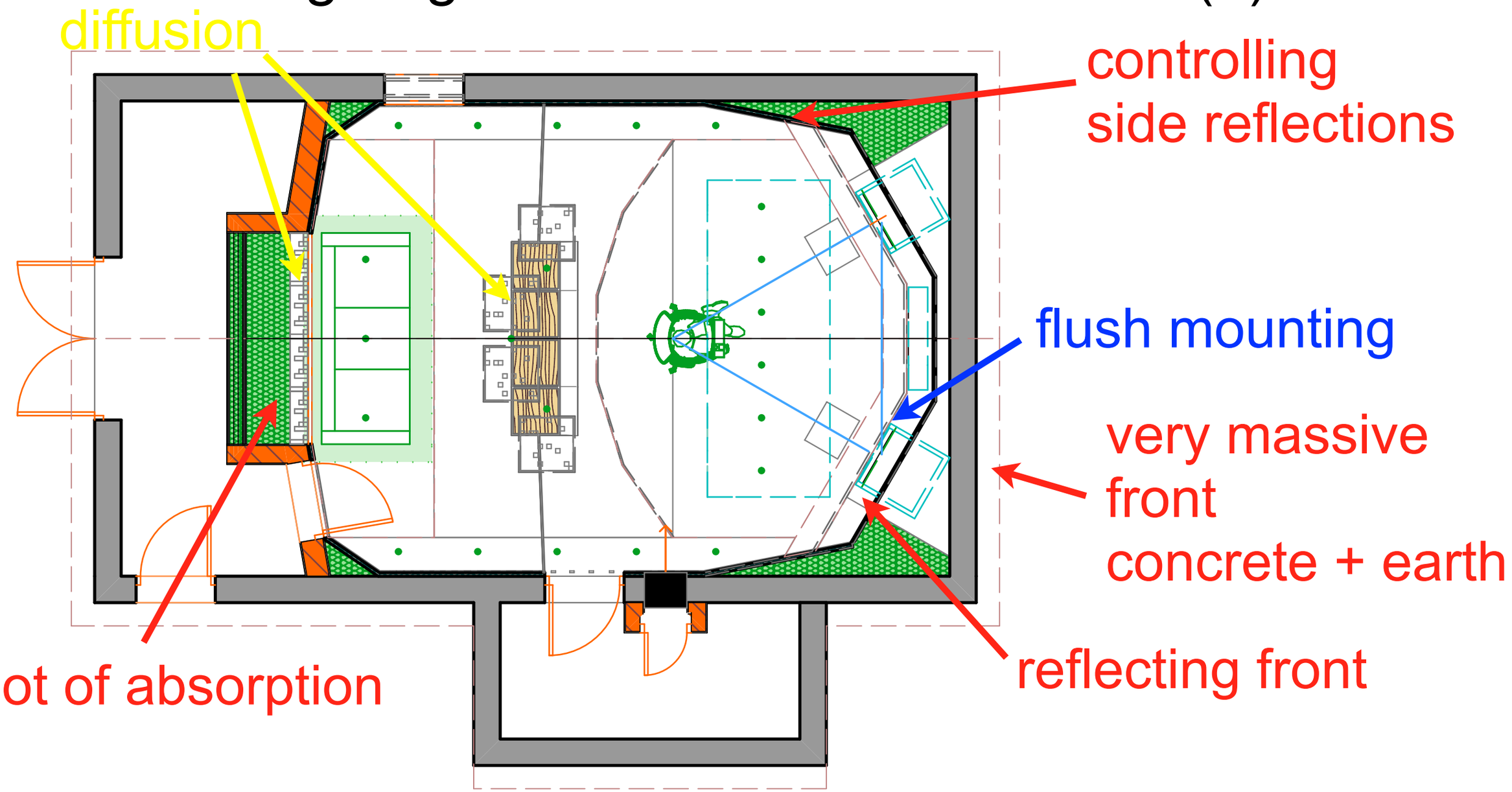
FEM simulations
Flush mount or not?





Starting from scratch

The garage studio - non-environment (?)



Starting from scratch

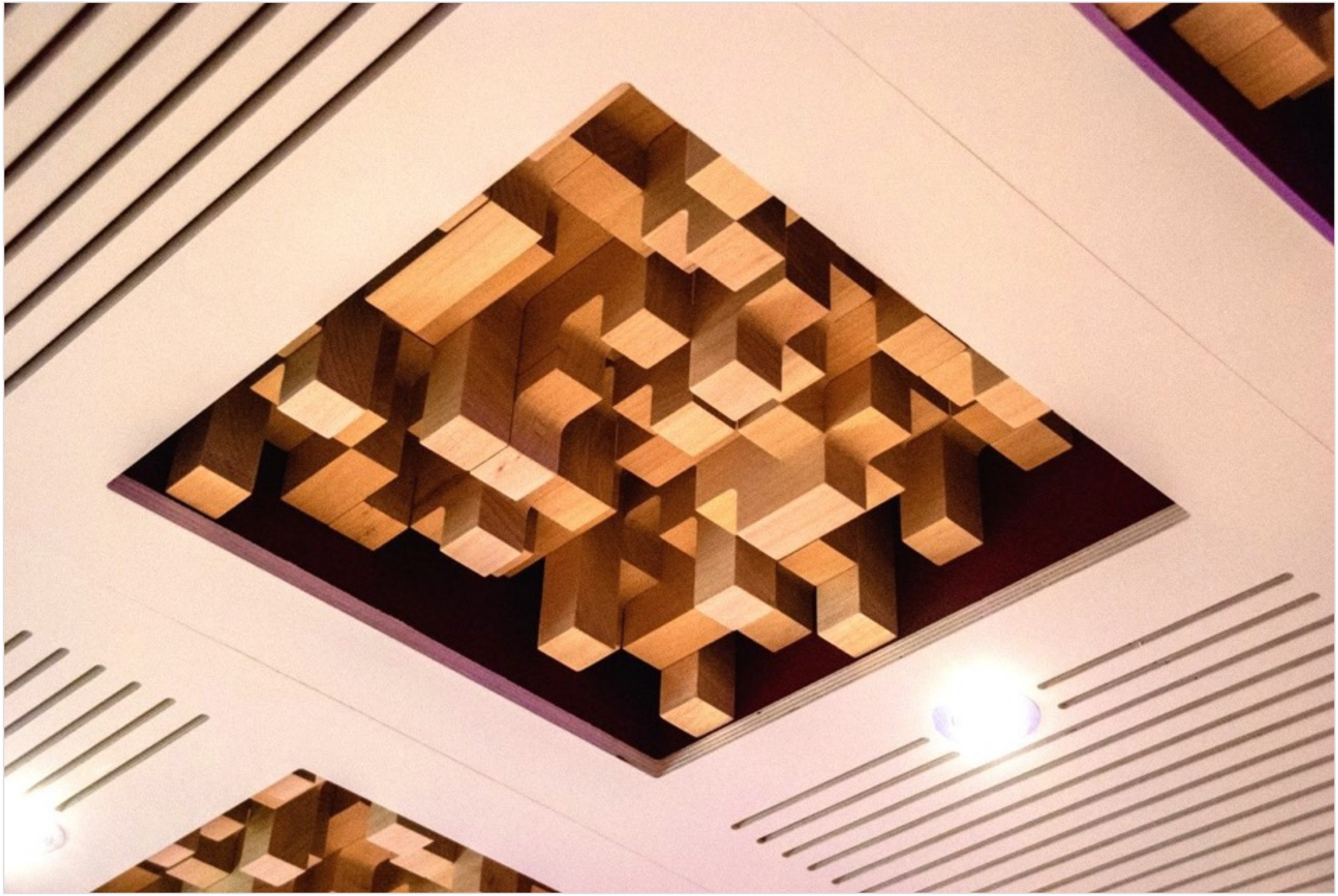
The garage studio

The Garage Studio (Fabrizio Simoncioni)
@ Civitella val di Chiana (AR)
nominated for Best Audio Facility 2014 Resolution Awards

THE GARAGE
TUSCANY, ITALY
mixing
recording
productions

THE GARAGE

THE GARAGE



REVIEWS: Drawmer MC 2.1 · Focusrite RedNet · McDSP 6020, AE400 & SPC2000 · Rosendahl Nanoclocks GL · Thermionic Culture Phoenix HG15 · Yamaha HS8

AUDIO FOR BROADCAST, POST, RECORDING AND MULTIMEDIA PRODUCTION

resolution

V13.1 JANUARY/FEBRUARY 2014 • £5

Manny Marroquin: music mixer • Live broadcasting The Voice of Germany • Sound through cinema screens

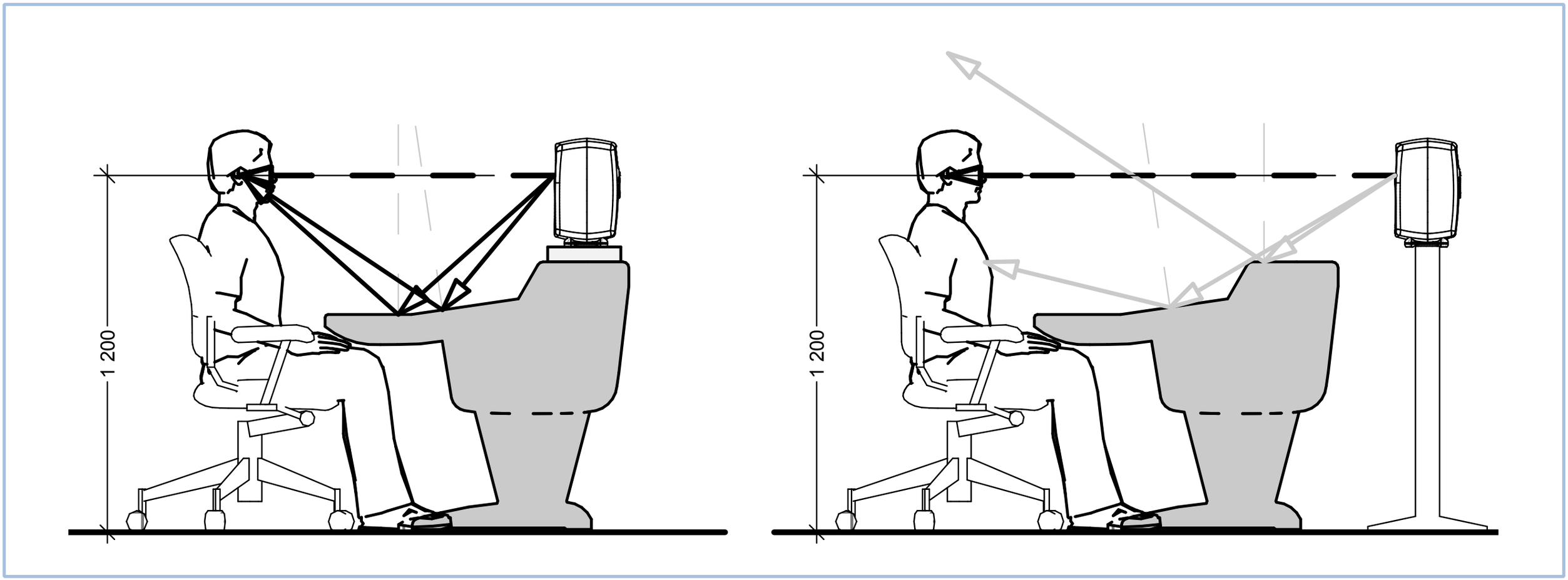
The Fabrizio Simoncioni interview

Birth of broadcaster BT Sport

Watkinson challenges 4k

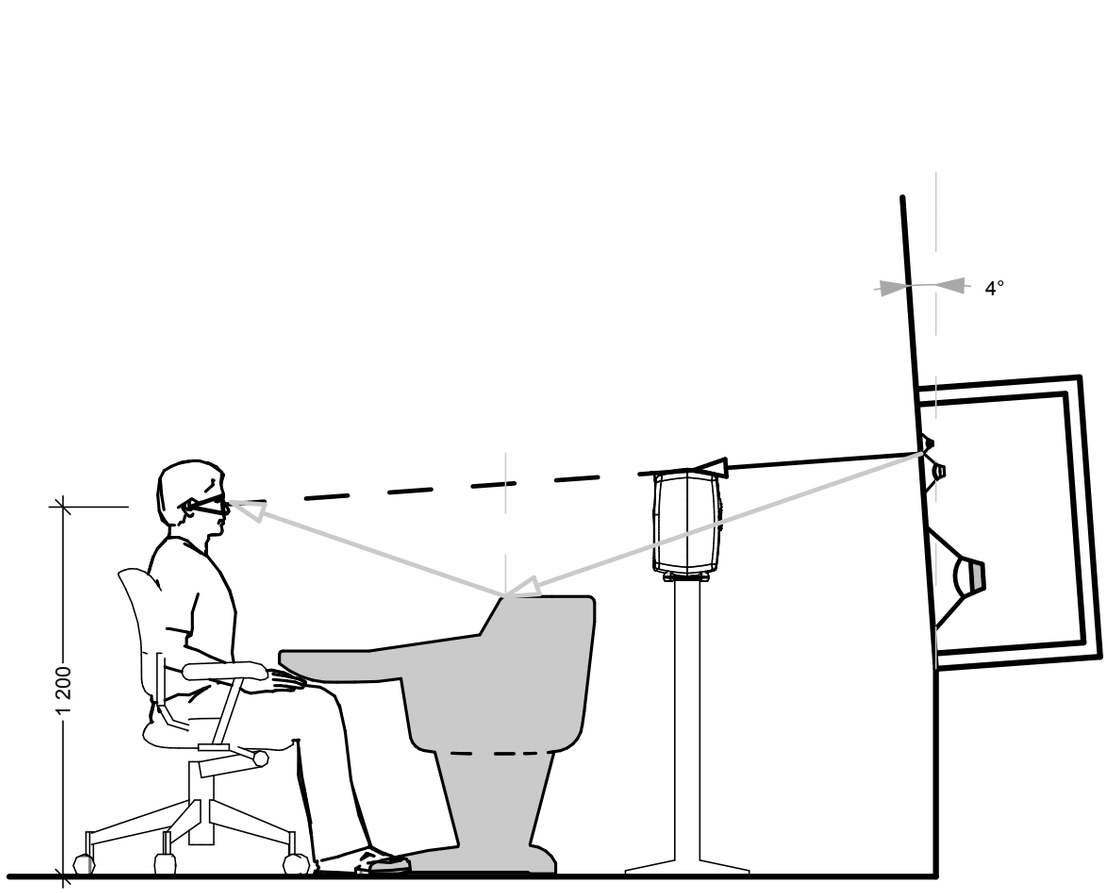
The Garage Studio (Fabrizio Simoncioni) nominated for Best Audio Facility 2014 Resolution Awards

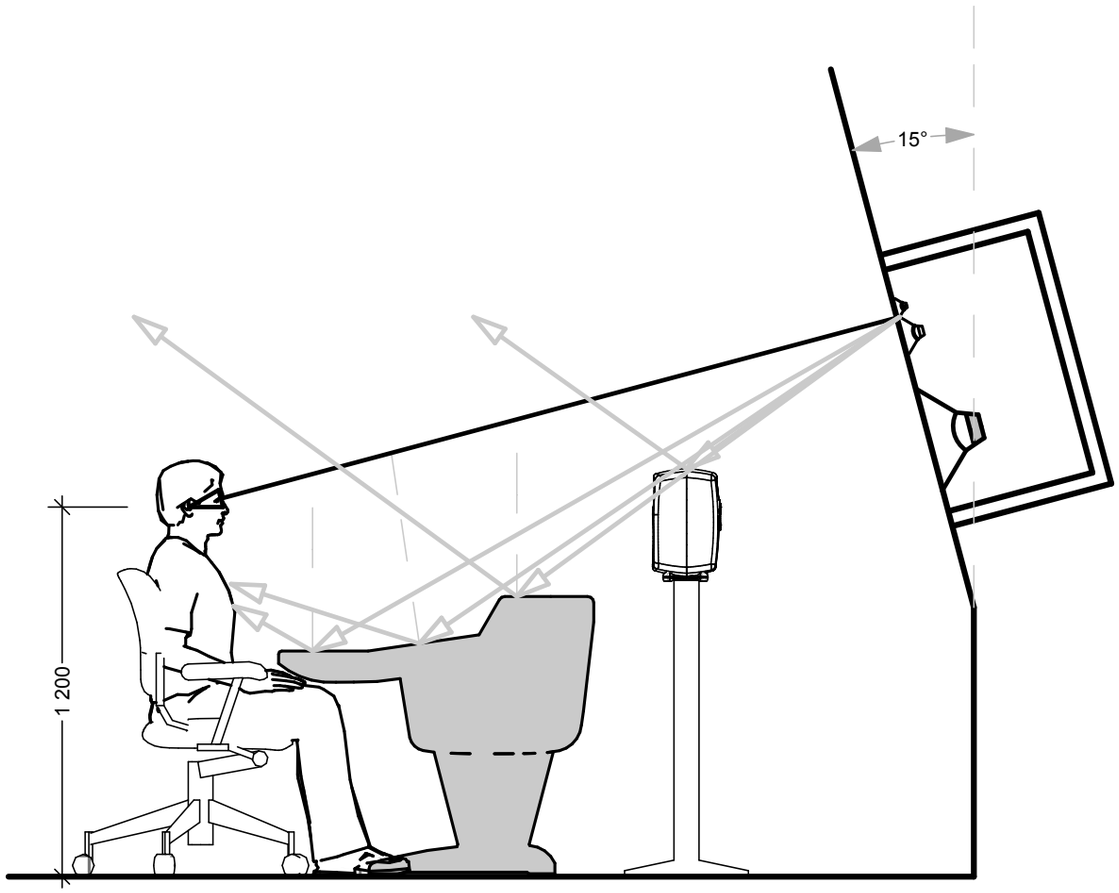
Controllare le riflessioni dalla console



Controllare le riflessioni dalla console

Big Monitors and nearfields

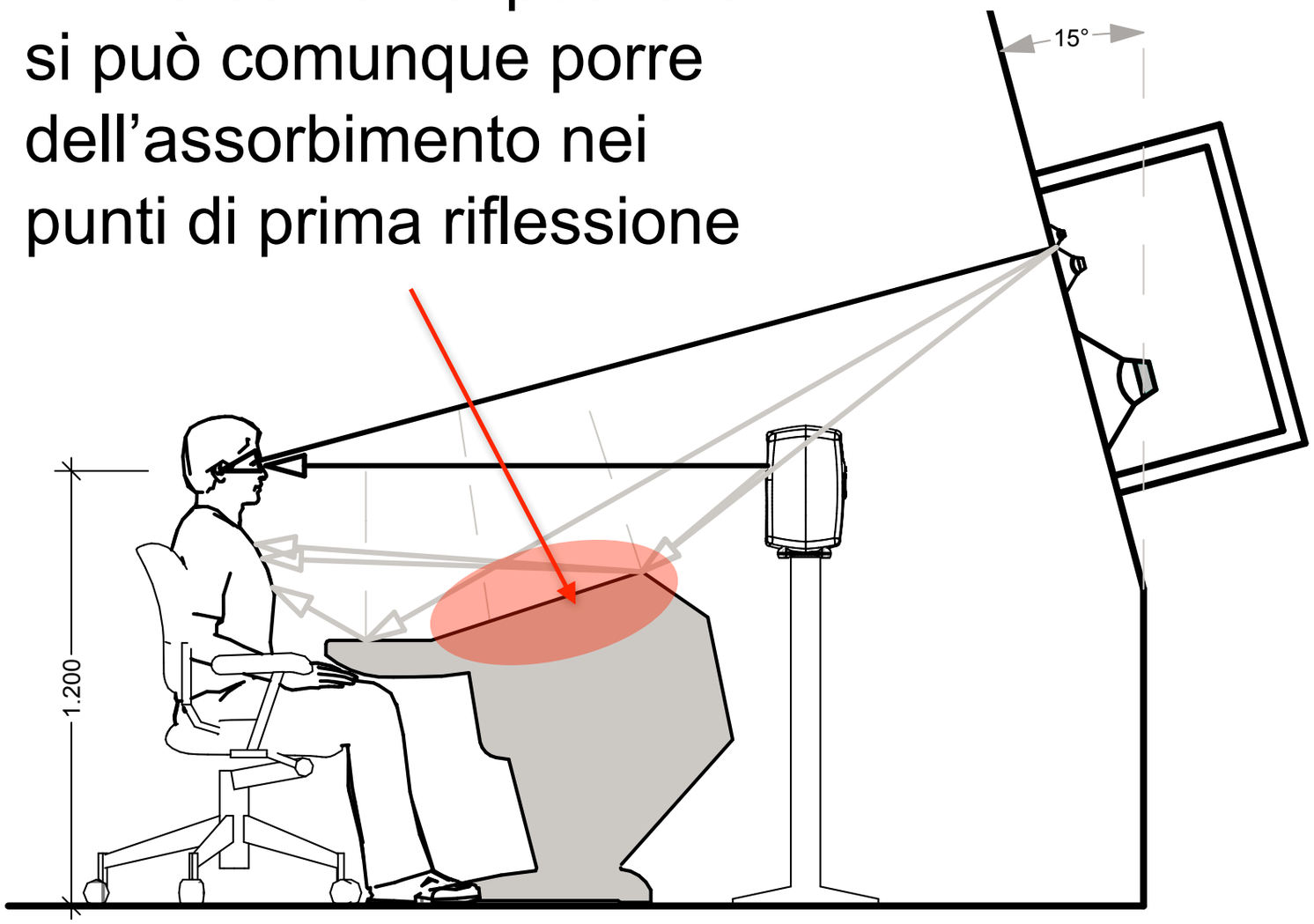




Controllare le riflessioni dalla console

Inclinare la console è sempre una cosa positiva per l’acustica e l’ergonomia…

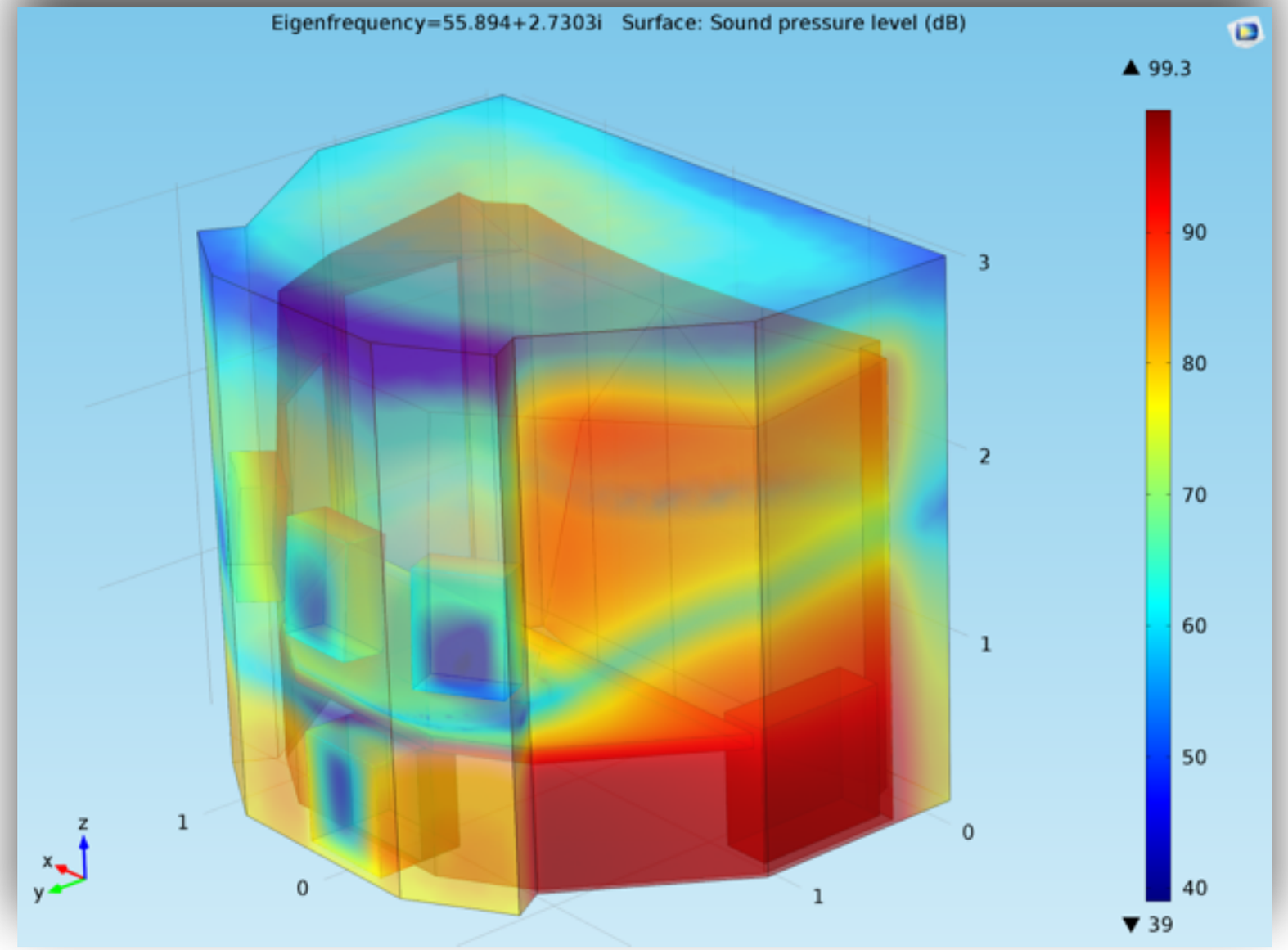
… ma se non si può fare si può comunque porre dell’assorbimento nei punti di prima riflessione



Controllare le riflessioni dalla console

… ma se non si può fare si può comunque porre dell’assorbimento nei punti di prima riflessione

Listening point/area



FEM simulation (COMSOL)

FOX International Channels UK National Geographic

Thanks to B&C Speakers for the image

seconda parte di miti sfatati

5-7: loudspeakers in a room

5. *I big monitors sono buoni per i clienti ma non per mixare. Sono troppo grandi e perdono di "definizione":*

Sulla base dei ragionamenti che ho proposto, posso affermare che i big monitor flush mounted siano veramente la cosa più delicata da mettere in uno studio, ma anche quella che personalmente da' più soddisfazione perché, quando funzionano, è come se prendesse vita tutto il progetto acustico.

6. *non voglio montare le casse a muro perché posso evitarlo e, così, sostituirle facilmente in futuro, inoltre se devo spostarle per un fine-tuning lo potrò fare:*

non si deve pensare ad un loudspeaker come un oggetto di "tendenza" da poter cambiare come un capo d'abbigliamento (!), ma è parte integrante di uno studio, quindi è bene sceglierlo al momento in cui si decide che studio fare.

7. *i nearfield hanno molta più definizione dei far-fields:*

Sbagliato! Posso soltanto affermare che i far-fields introducendo più energia nella stanza, eccitino le sue risonanze modali di più che i near-field, ma l'effetto delle prime riflessioni è sicuramente peggiore per un nearfield su stativo che per un big monitor incassato a muro.

Considerazioni aggiuntive!

direttività di una cassa piccola vs. grande e riflessioni

I nearfield hanno generalmente molti altri problemi, come quelli legati alla **direttività**.

Infatti, le dimensioni di una cassa influenzano la radiazione sonora: questo effetto si manifesta quando la lunghezza d'onda che è generata dai monitor è identica (o proporzionale) a una delle sue dimensioni. La cassa comincia ad essere direttiva per questa frequenza e per le sue armoniche relative.

Per fare un esempio, per un piccolo monitor, le dimensioni corrispondono al **midrange**, che è già molto direttivo, e **rinforzano il fenomeno danneggiando la risposta off-axis**.

Per una cassa più grande le dimensioni corrispondono a frequenze più basse dove l'energia è molto meno direttiva, per questo motivo l'effetto risulta trascurabile.

Inoltre una cassa piccola risente particolarmente della presenza di grandi console nel range di emissione delle sue frequenze più basse, del muro dietro e dei comb filter che ne conseguono, e delle riflessioni della console alle medie frequenze.
Questo è un effetto della vicinanza di oggetti di grandi dimensioni ai driver.

Nel caso di un big monitor incassato a muro non ci sono oggetti vicino ai driver, ai mid e ai tweeter, come capita spesso invece nel caso delle casse piccole, e questo ha effetto sulla loro risposta.

Consigli sui monitor

quali comprare e come montare?

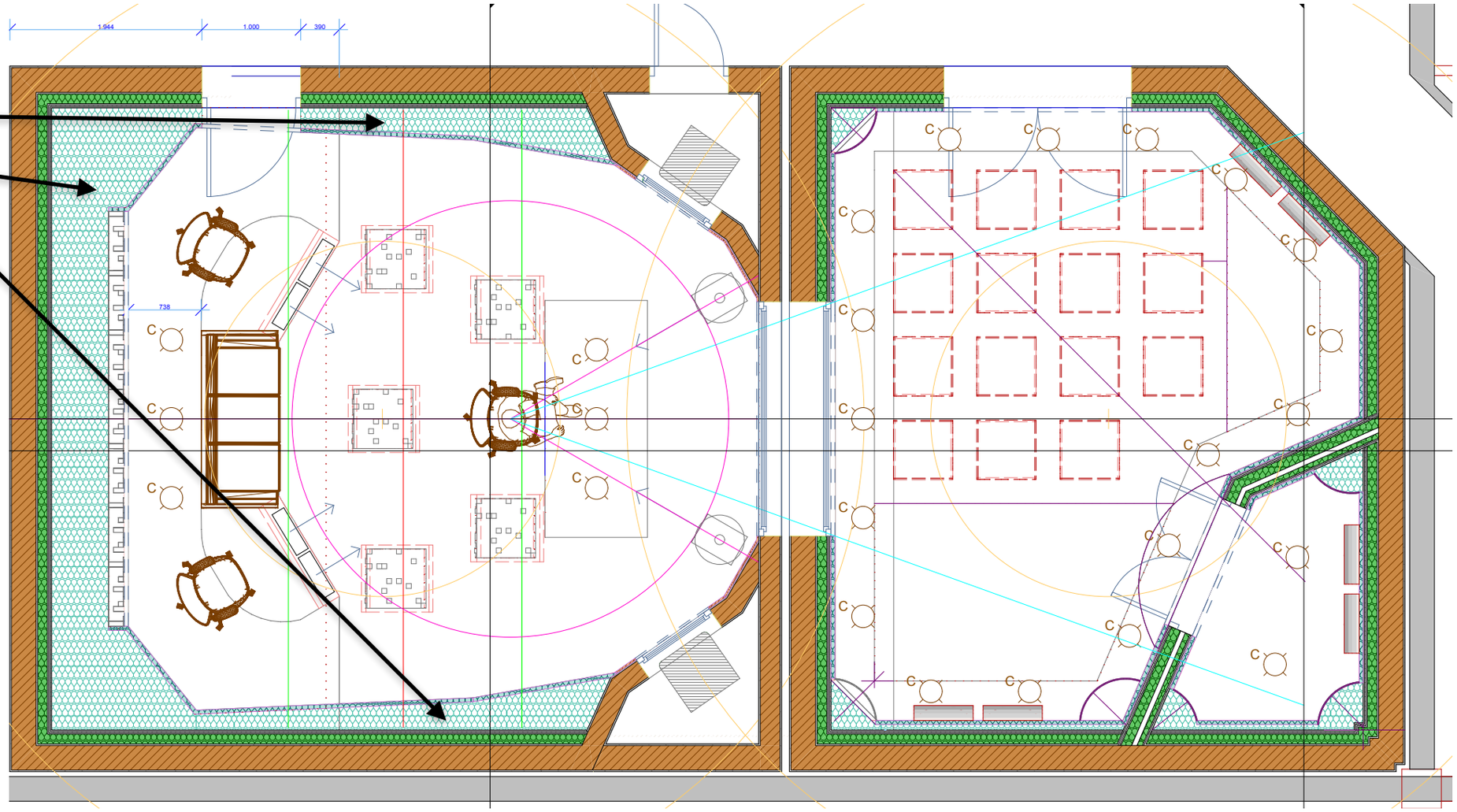
Concludendo, il mio consiglio, se se ne ha la possibilità, è quello di poter prevedere i big monitor in uno studio, considerando che la distanza minima d'ascolto non possa essere inferiore ai 2.2m circa.

Quindi è sicuramente inutile inserirli in stanze che non abbiano una dimensione idonea, ma in alcune situazioni con dimensioni contenute mi è capitato di poter montare (flush mount) dei mid-field (1.7÷2.4 m) con ottimi risultati.

Il montaggio e il posizionamento di un loudspeaker è fondamentale in uno studio, un errato posizionamento può causare buche nella risposta in frequenza anche di 15÷20 dB!

VI Assorbimento acustico

Assorbimento con materiale poroso

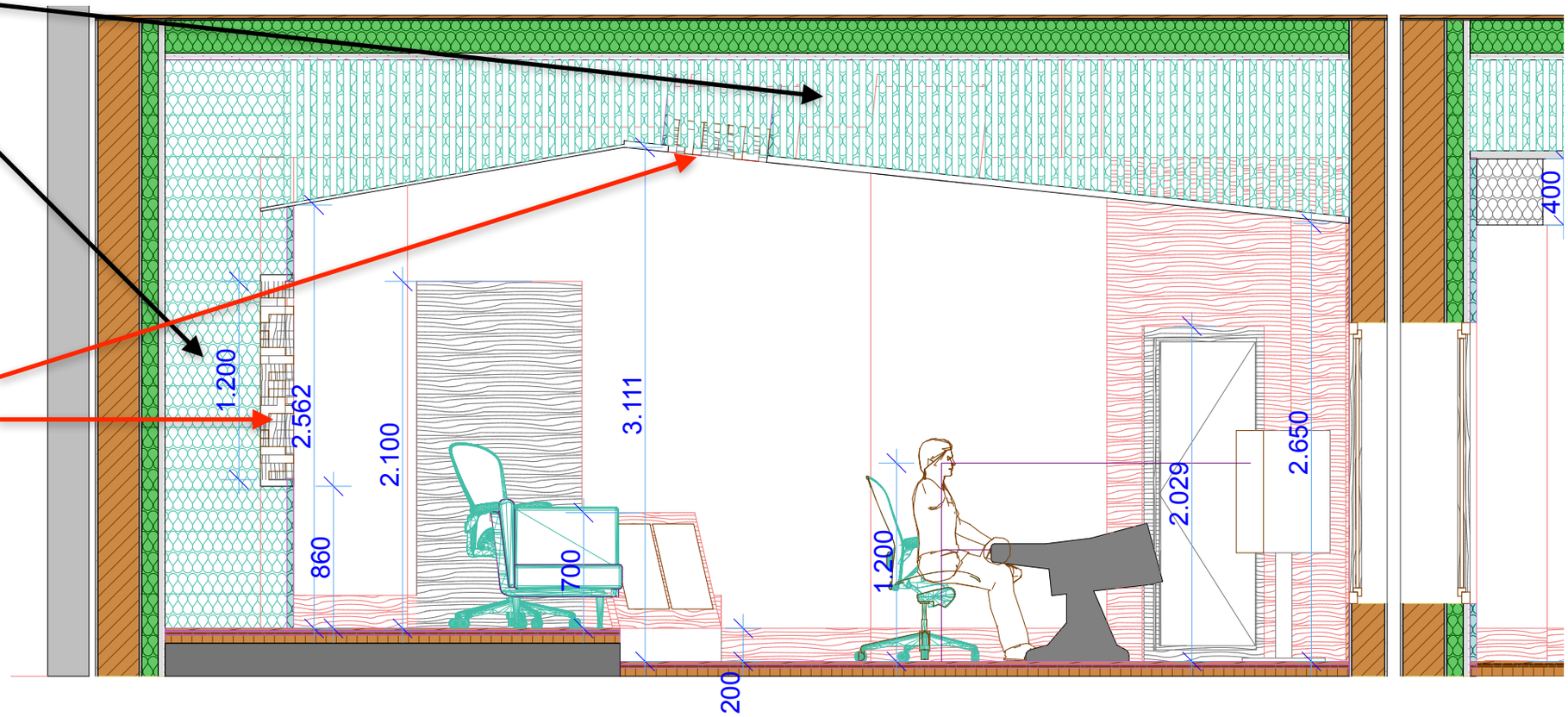


Dove metterlo?

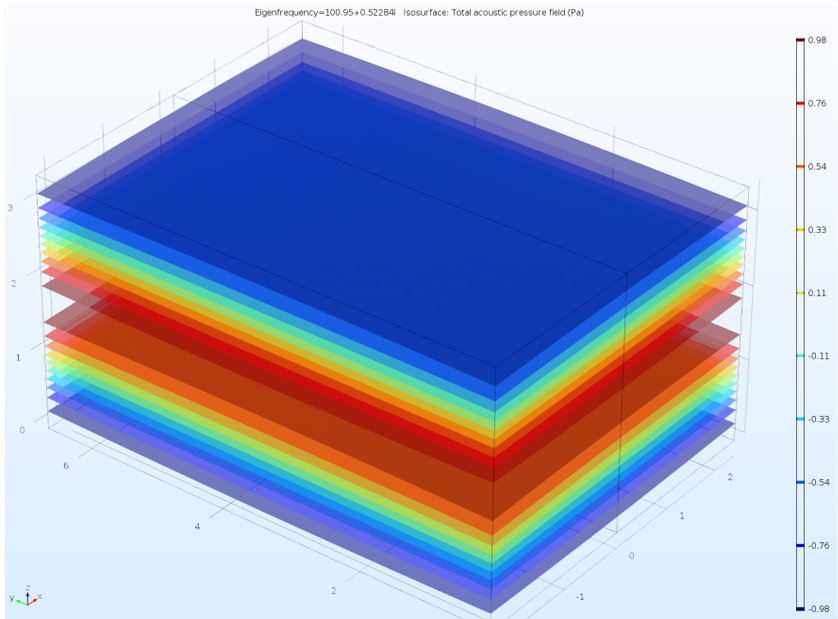
Assorbimento con materiale poroso

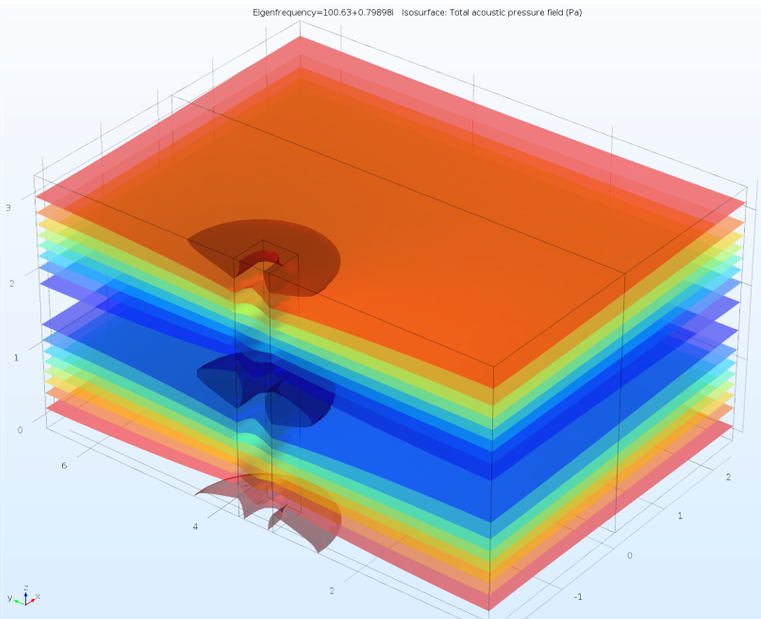
baffle al soffitto

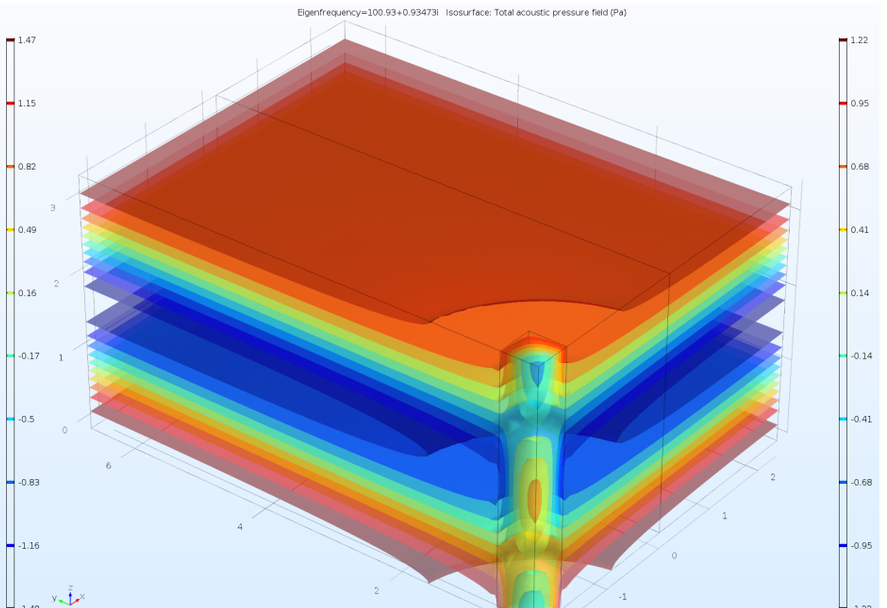
diffusione per mid-hi freq.

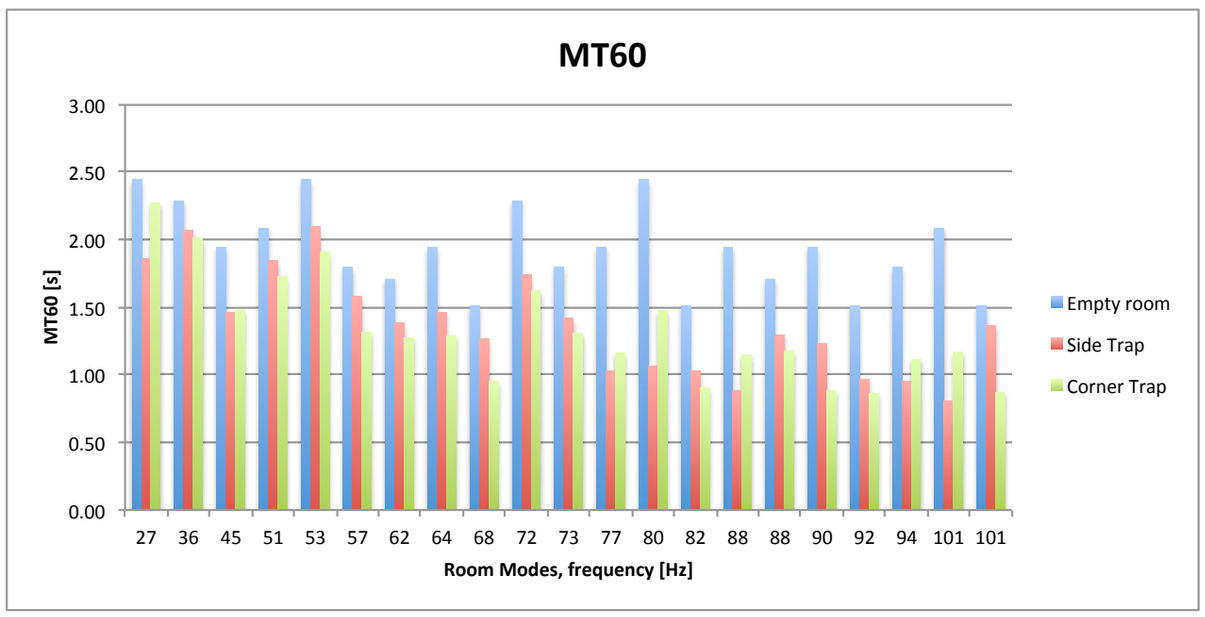


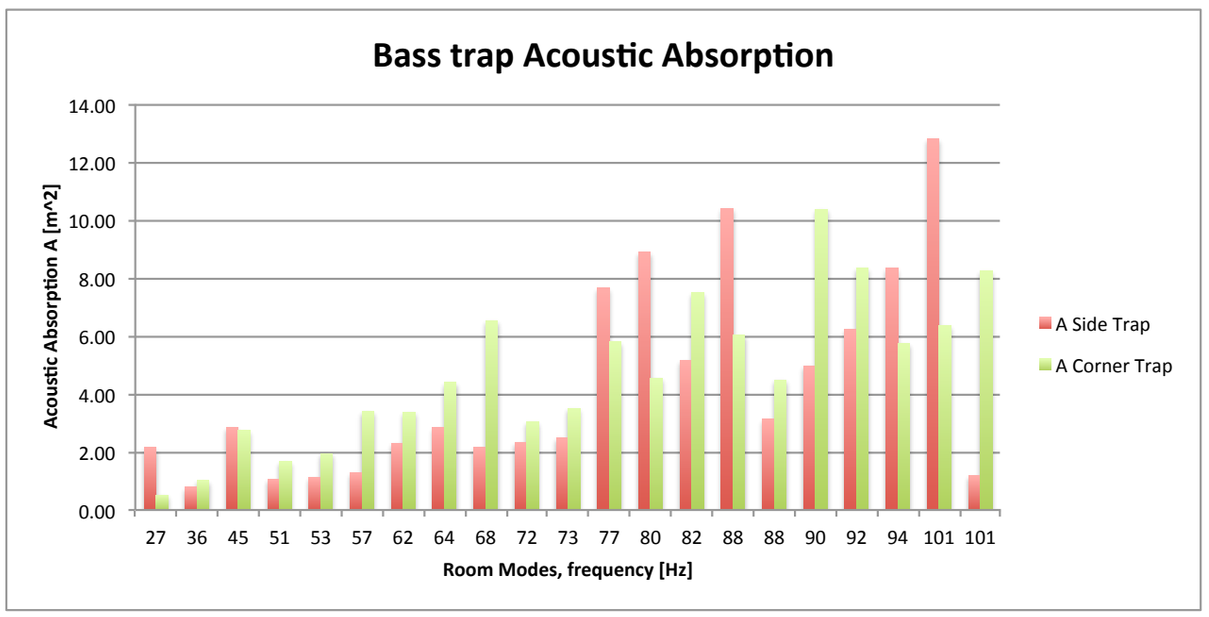
FEM Simulation
Bass trap









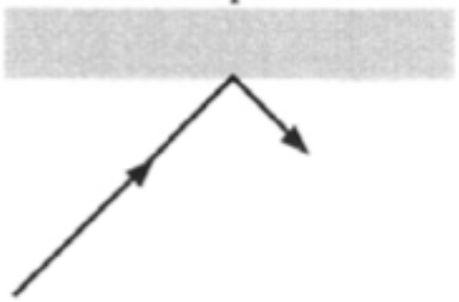


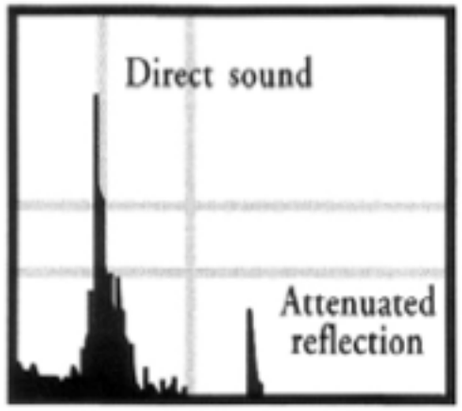
Acoustical treatment

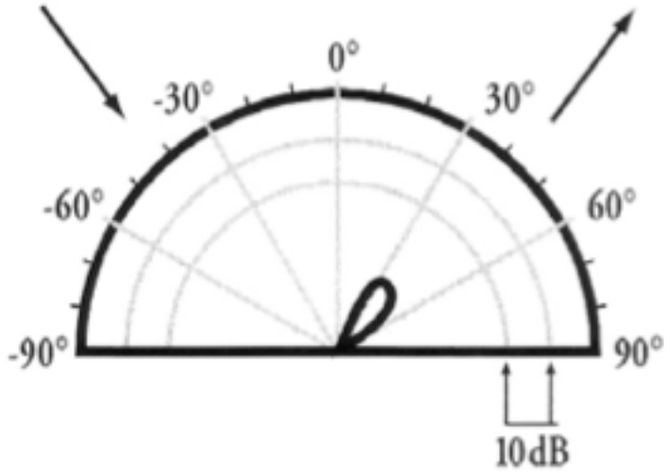
Temporal response

Spatial response

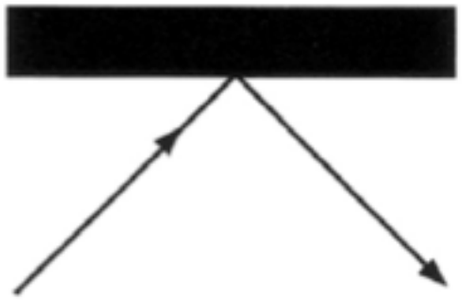
Absorption

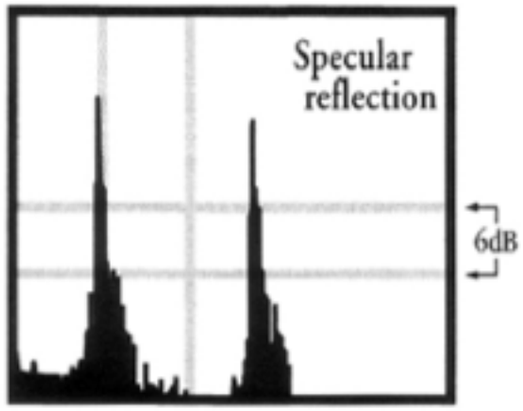




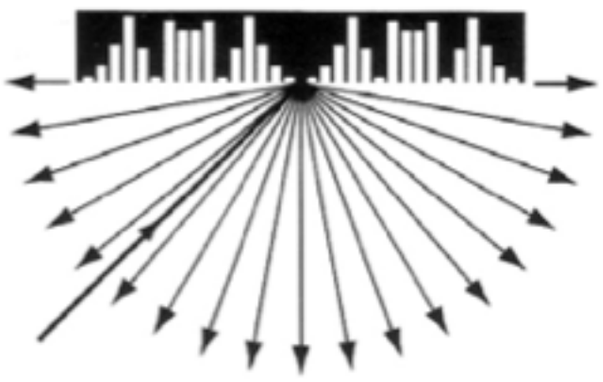


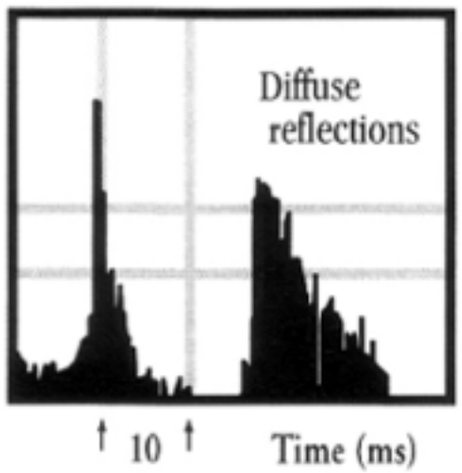
Reflection

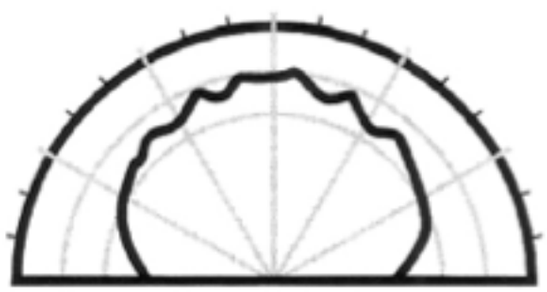




Diffusion







A. Materiali assorbenti per porosità

materiali fibrosi (lana di vetro, lana di roccia, fibra di poliestere, feltri fibre di acido polilattico (mais), fibre vegetali (cotone, canapa, cocco, legno, cellulosa etc), fibre animali (lana, piuma d'oca etc))

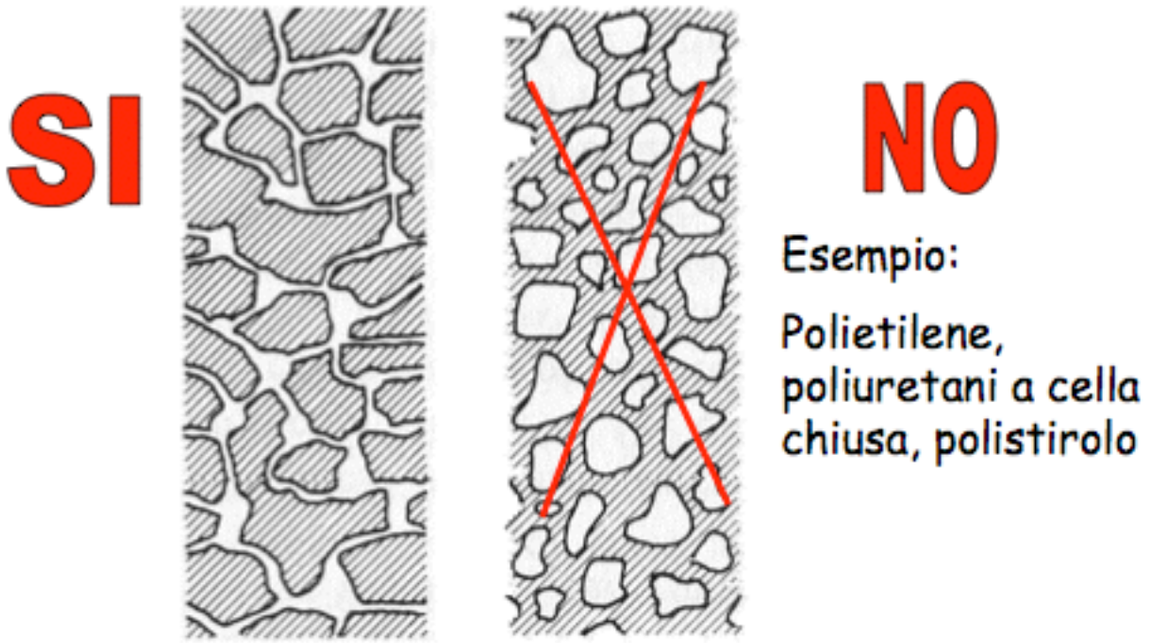
materiali porosi (o a celle aperte) (poliuretani espansi a cella aperta, resina melamminica, schiuma espansa a base di polietilene, schiume di alluminio, aggregati di elastomeri espansi, altri materiali aggregati tipo pietra, gomma plastica etc)

Assorbono l'energia sonora per un fenomeno di tipo dissipativo legato all'attrito viscoso che si genera tra struttura del materiale e particelle d'aria in moto

NON SONO FONOASSORBENTI!!!

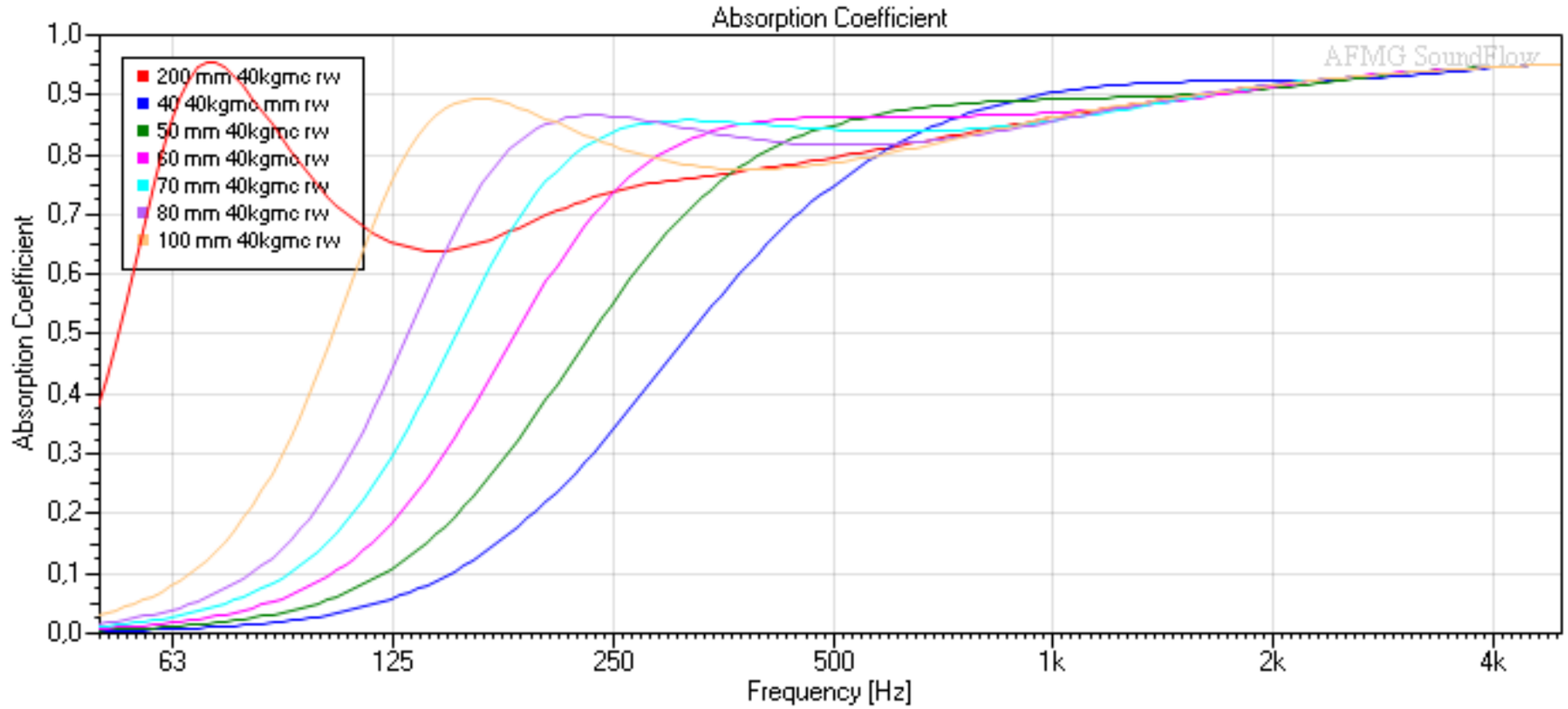
Attenzione perché sul mercato ci sono molti materiali che vengono venduti con esoteriche proprietà fonoassorbenti, quindi è facile sbagliare, in particolare diffidate dai materiali che non hanno almeno uno dei seguenti requisiti:

- contengono un'elevata percentuale di aria al loro interno, in collegamento con l'ambiente esterno
- consentono al campo acustico di penetrare al loro interno e di dissipare energia per attrito viscoso sulle pareti della struttura del materiale



Effetto dello spessore nell'assorbimento

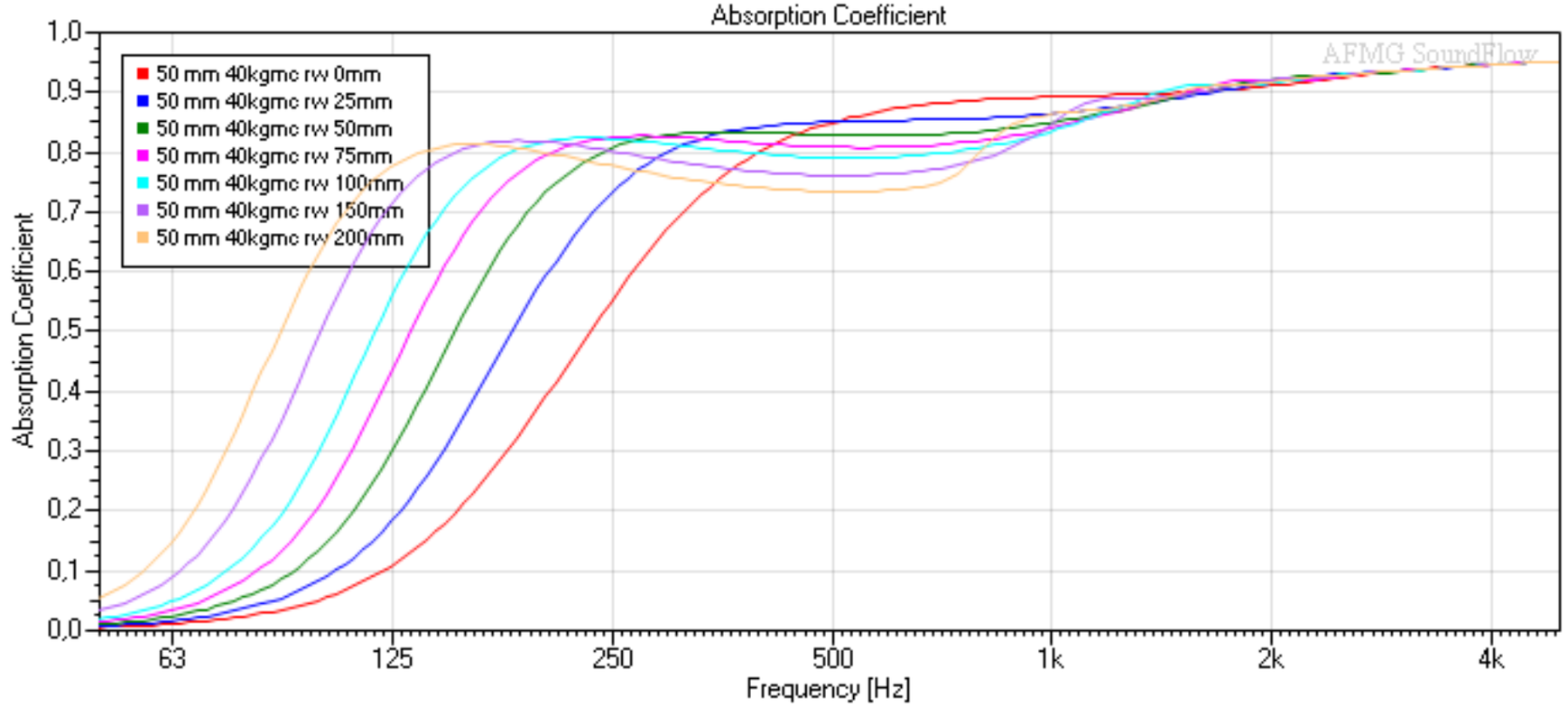
Lo spessore del materiale fonoassorbente aumenta le prestazioni di fonoassorbenza in particolar modo alle basse frequenze.



Attenzione perchè 5 cm di lana di roccia non assorbono praticamente niente sotto i 100 HZ!!!

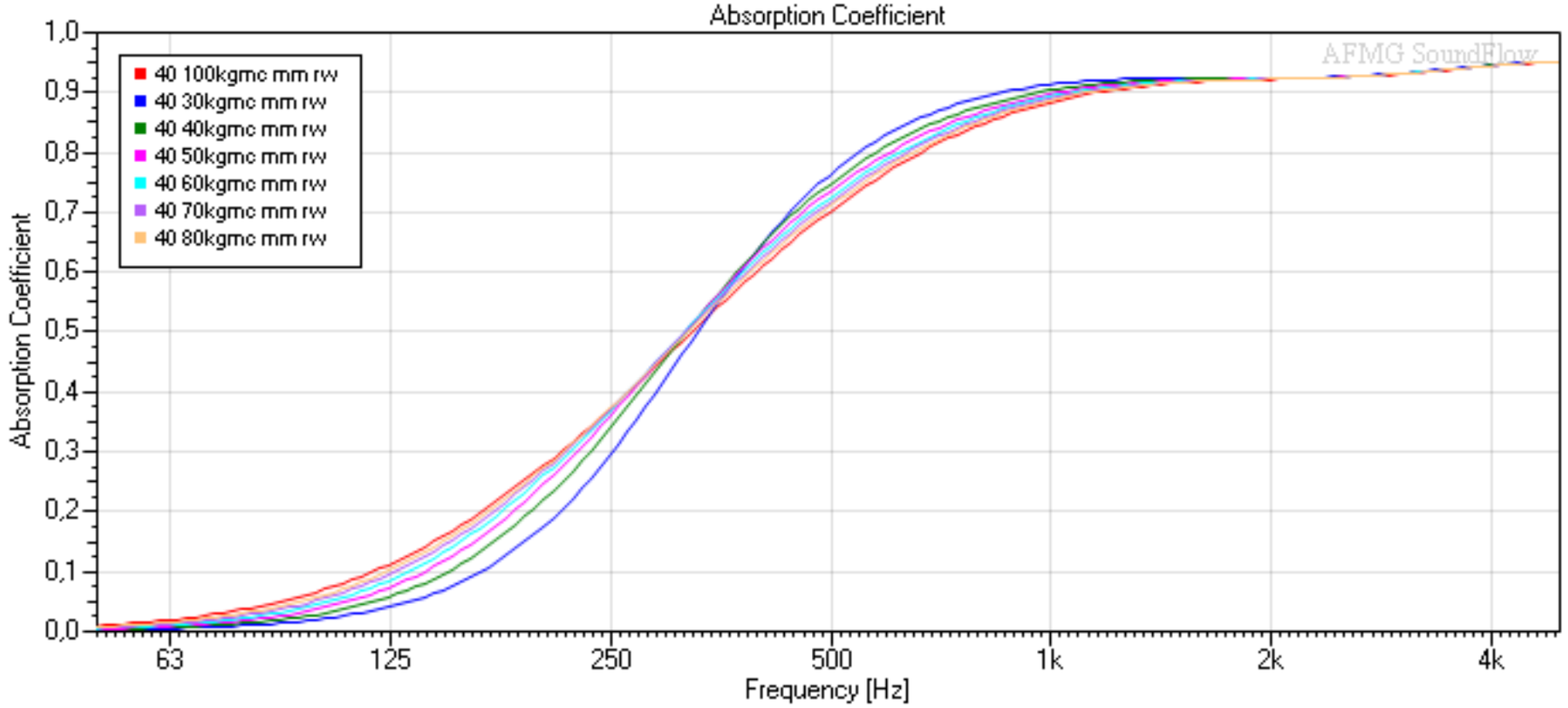
Effetto della camera d’aria nell’assorbimento

Anche la camera d’aria posta tra il materiale e la superficie rigida aumenta le prestazioni di fonoassorbenza in particolar modo alle basse frequenze (un po’ meno che lo spessore).



Effetto della densità nell'assorbimento

La densità influisce poco nell'assorbimento: conviene (economicamente) molto di più utilizzare materiali leggeri (max 40 kg/m^3) magari più spessi o montati su camera d'aria.



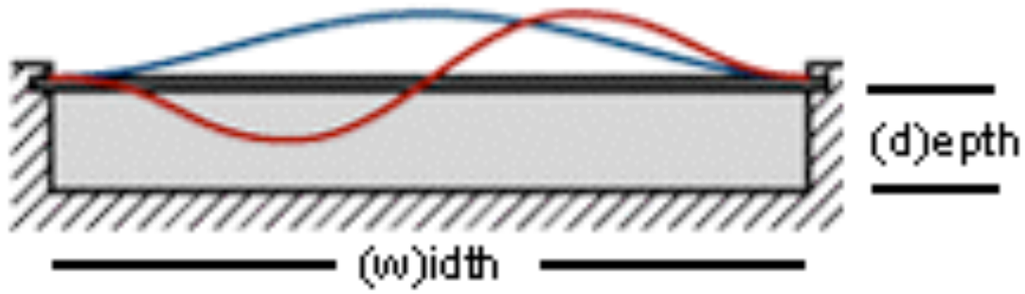
B. Assorbitori a membrana

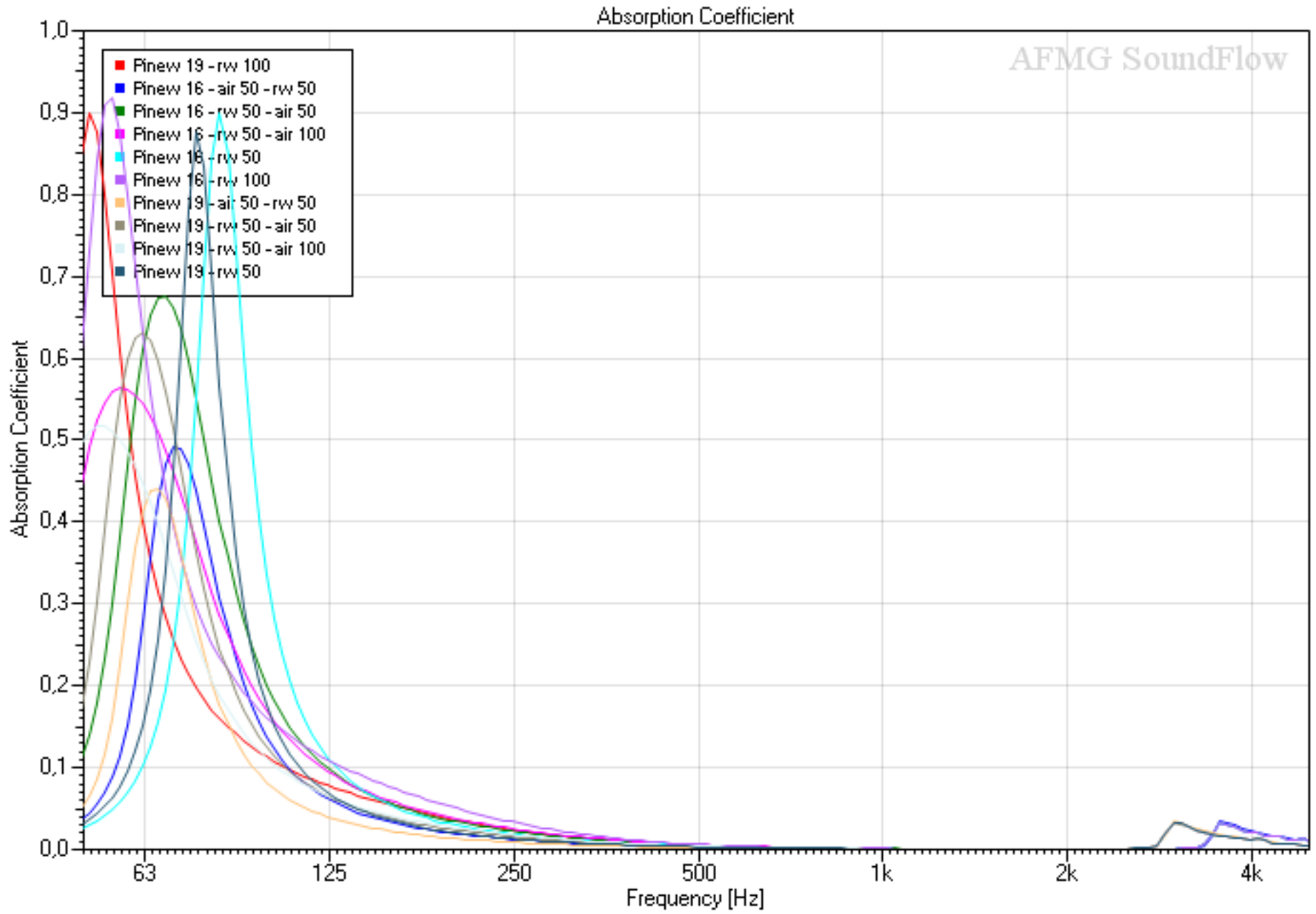
UNA SCATOLA CHIUSA CON UN LATO RISONANTE:
Assorbono l'energia sonora per un fenomeno di tipo dissipativo legato allo smorzamento dell'oscillazione che si genera alla risonanza della massa d'aria parzialmente confinata o di una superficie vibrante sollecitata da onde sonore incidenti su di essa.

$$f_0 = \frac{62}{\sqrt{\rho_A \cdot d}}$$

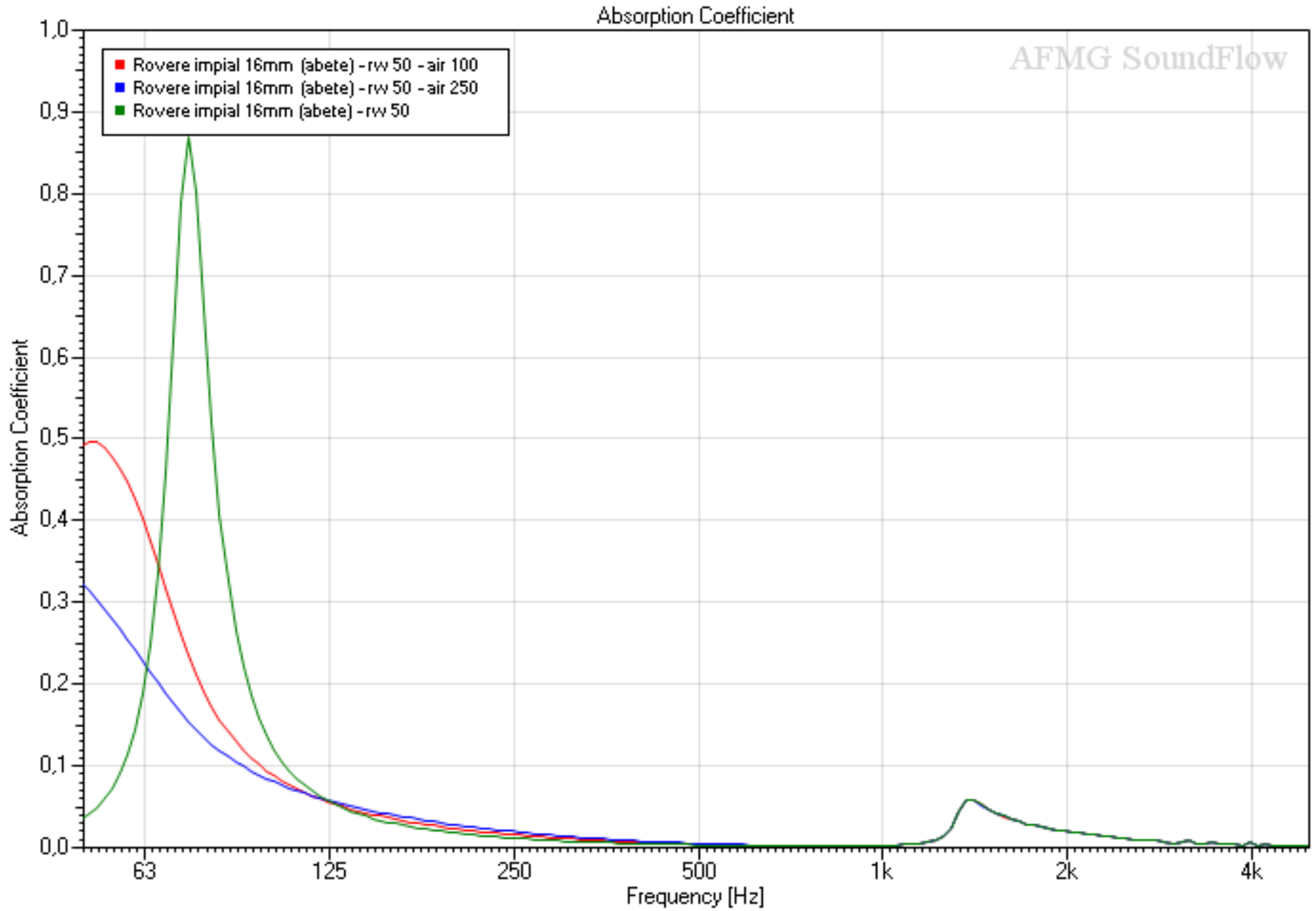
ρ_A = *densità del pannello (kg/m²)*

d = *spessore della camera d'aria (cm)*





Pannelli risonanti: nella legenda il primo numero indica lo spessore in mm del pannello, la sigla rw indica la lana di roccia e il suo spessore e la sigla air indica la camera d'aria e il suo spessore.



Tre diversi pannelli risonanti in rovere impiallacciato su abete: nella legenda il primo numero indica lo spessore in mm del pannello, la sigla rw indica la lana di roccia e il suo spessore e la sigla air indica la camera d'aria e il suo spessore.

C. Assorbitori per Risonanza di Helmholtz

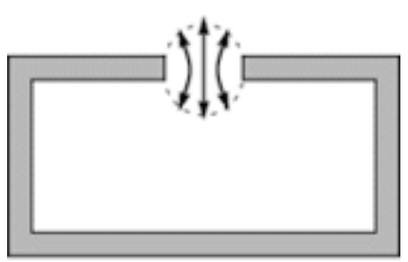
UNA SCATOLA CHIUSA CON UN BUCO:

Il sistema si basa su una massa che vibra in risonanza con una molla.

Il rapporto tra la massa e la rigidità dinamica della molla definisce la frequenza di risonanza.

In questo caso l'aria agisce come una molla con una rigidità dinamica definita dal suo volume: più grande è il volume e più diventa debole la molla (frequenza di risonanza più bassa).

Per un risonatore di Helmholtz la massa è rappresentata dalla



$$f_H = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{V \cdot l}}$$

A = area del collo

V = volume del risonatore

l = lunghezza del collo

Caratteristiche della risonanza

1. Assorbimento del suono per una data frequenza e con una precisa campanatura. La larghezza della campana dipende dall'attrito del sistema, ad esempio questa si allarga se si inserisce materiale poroso fonoassorbente nel collo dell'apertura o dentro il risonatore stesso.
2. Il suono che non può essere assorbito dal risonatore viene diffuso. In particolare un risonatore irradia il suono dalla sua apertura in modo semisferico.

Assorbitori a pannelli perforati

Possiamo vedere questa struttura come un sistema di risonatori accoppiati.

Se il suono giunge perpendicolare al pannello perforato, tutti i piccoli risonatori sono in fase. Per le onde sonore che arrivano dal lato, l'assorbimento è meno efficiente. Questa perdita può essere minimizzata sezionando la cavità dietro alla faccia perforata.

$$f_{Hp} = 508\sqrt{\frac{P\%}{t \cdot l}}$$

$P\%$ = percentuale di perforazione: (area dei buchi / area del pannello) x 100

t [cm] = lunghezza effettiva dei buchi, con fattore di correzione applicato (spessore pannello + 0.8 x diametro buco)

l [cm] = profondità della camera d'aria

Assorbitori a Stecche

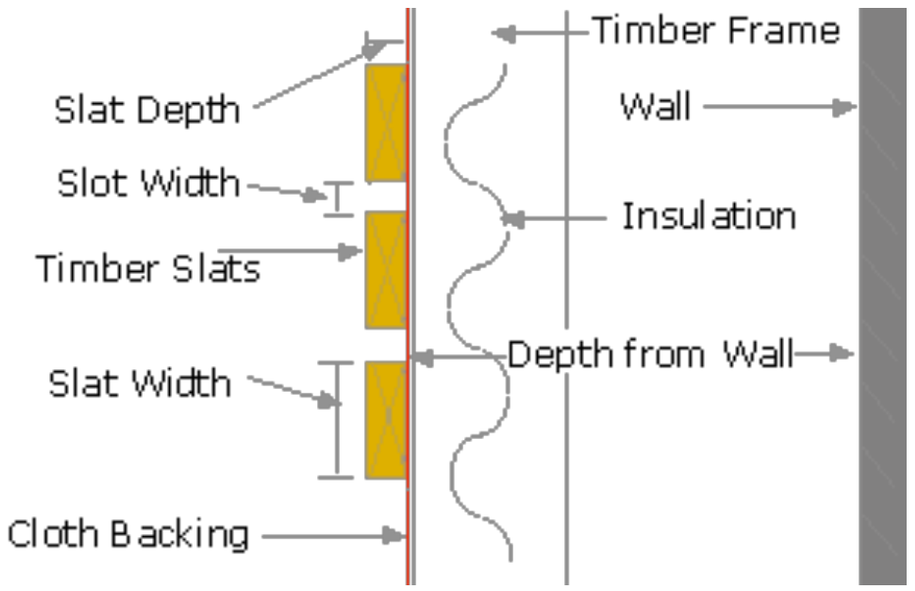
La massa dell'aria negli slot tra tra le stecche reagisce con l'aria nella cavità per formare un sistema risonante.

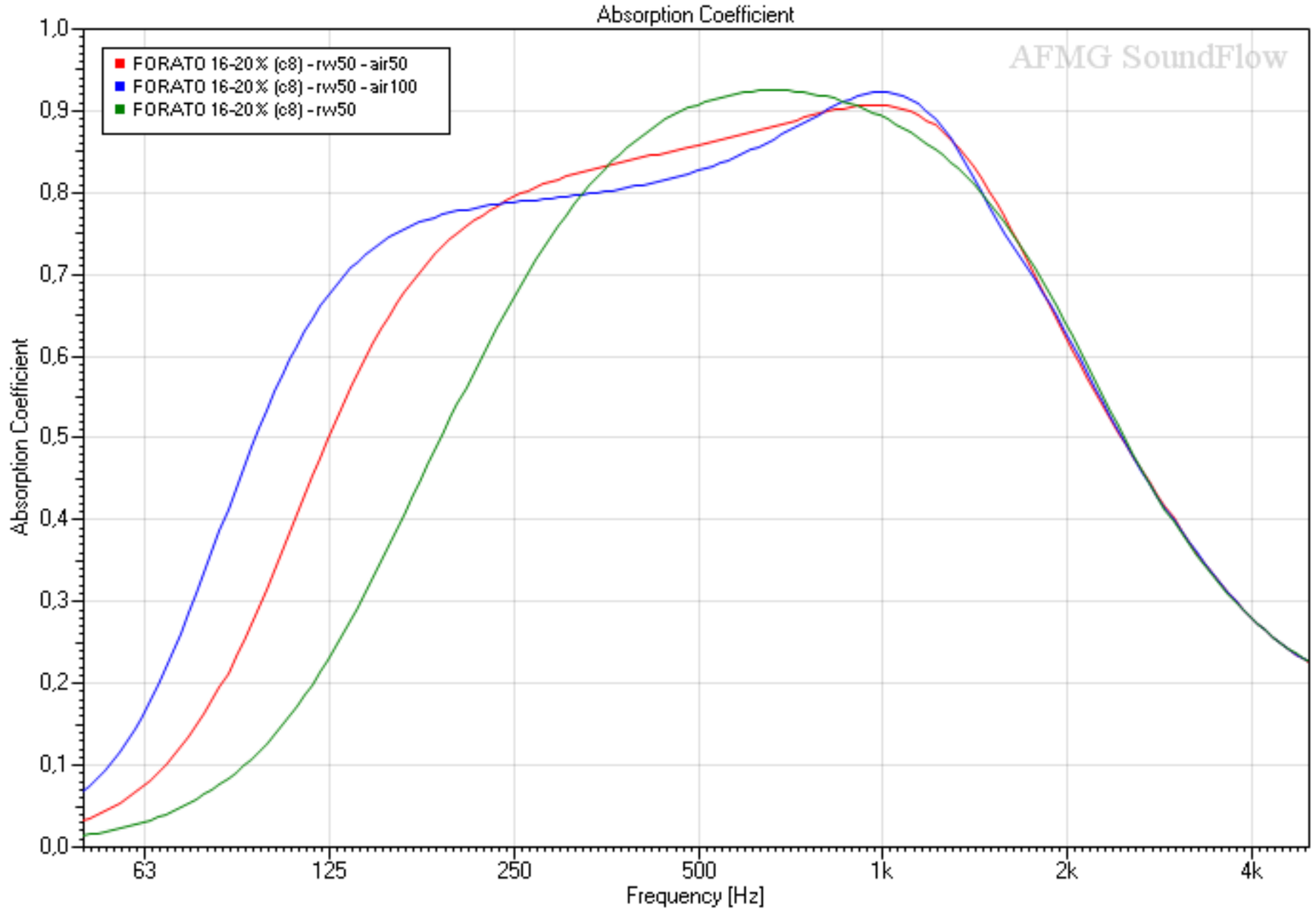
Si introduce solitamente fibra di vetro dietro agli slot per fare resistenza e allargare quindi il picco d'assorbimento

Più sono stretti gli slot e più sono profonde le cavità, più è bassa la frequenza di assorbimento massimo.

$$f_{Hs} = 5469\sqrt{\frac{r}{1.2\left[dD(r+w)\right]}}$$

r = slot width [cm]
d = slat thickness [cm]
1.2 = mouth correction [cm]
D = cavity depth [cm]
w = slat width [cm]
5469 = c/(2*π)
c =speed of sound [cm/sec] (circa 34300)

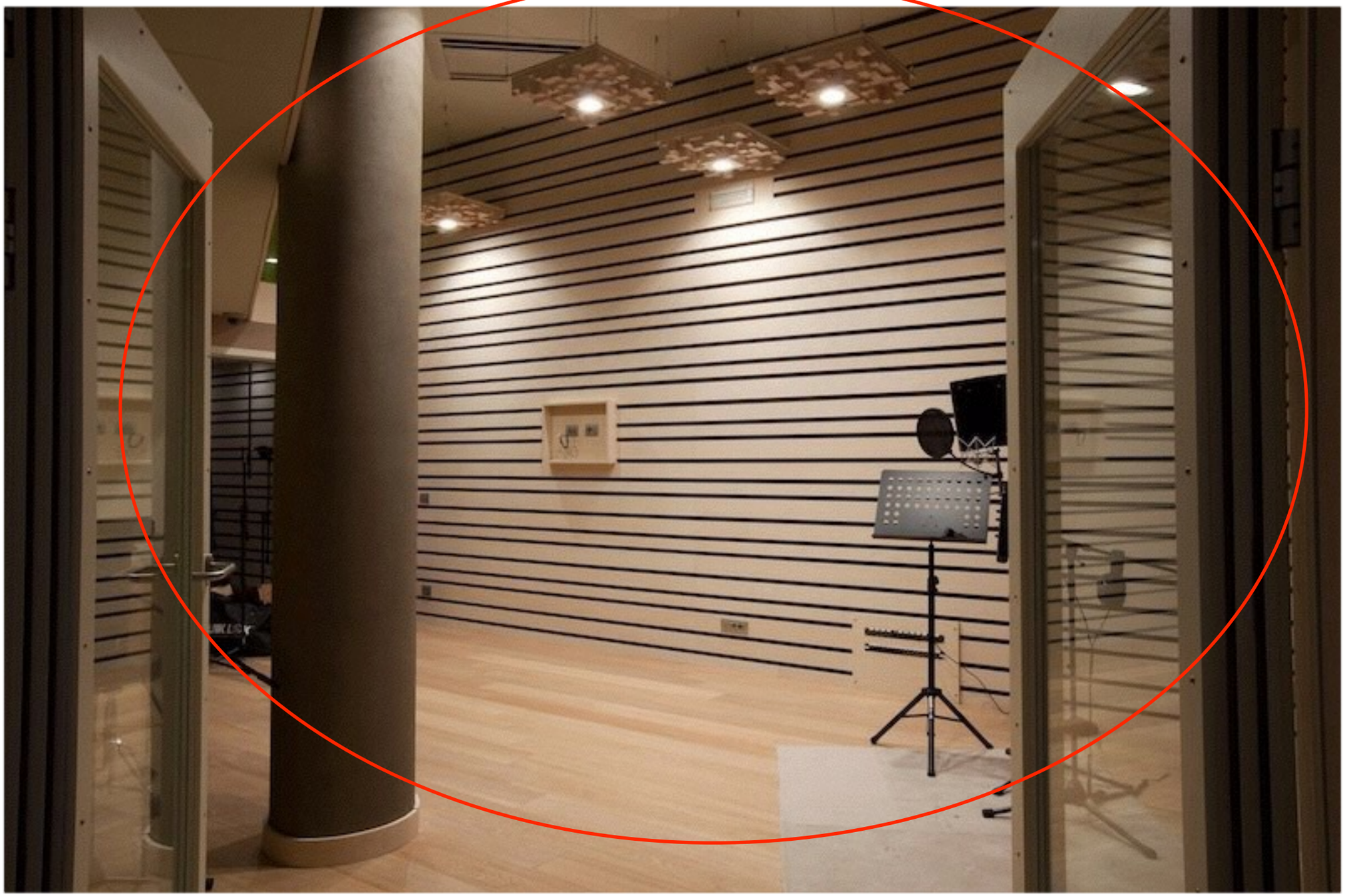




Tre diversi pannelli forati risonanti di stesso spessore (16 mm)e % e tipo di foratura (20% a stecche), montaggio diverso: la sigla rw indica la lana di roccia e il suo spessore e la sigla air indica la camera d’aria e il suo spessore.

Esempi di assorbitori forati e a stecche:

Esempi di assorbitori a stecche:



Esempi di assorbitori a stecche:

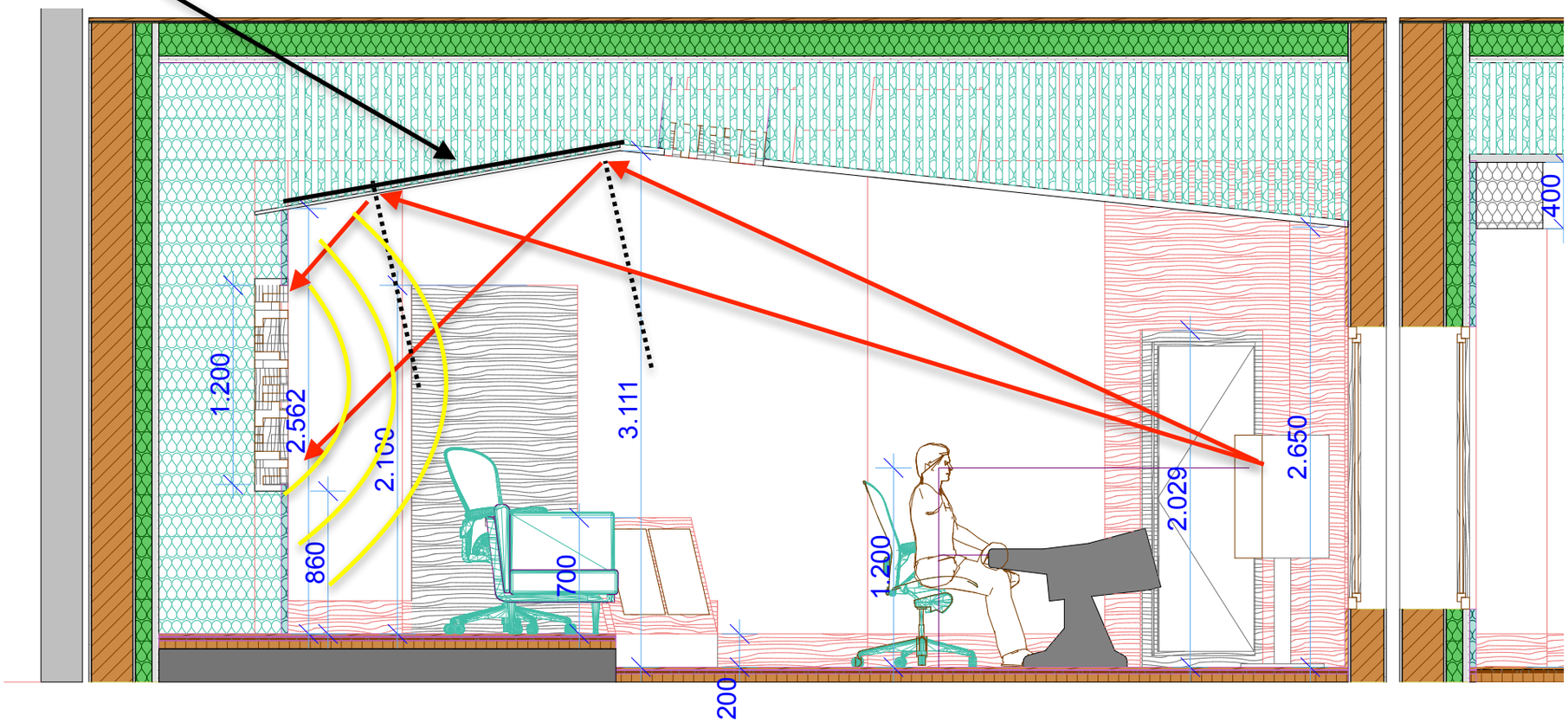
PPG Studios (Guerrini - Bocelli) @ S. Pietro Belvedere (PI)

VII Diffusione acustica

1. Posizionare il diffusore sulla parete di fondo, sopra assorbimento acustico;
2. alcuni diffusori sul soffitto potrebbero essere utili per ingrandire l'immagine e per dare più presenza (brillantezza);
3. è anche utile posizionare altre superfici riflettenti / diffondenti per raggiungere i valori RT giusti, ma si deve controllare la prima riflessione per i pannelli riflettenti;
4. è una buona idea mettere un pannello riflettente in prossimità del diffusore sulla parte posteriore, aiuta a farlo funzionare correttamente.

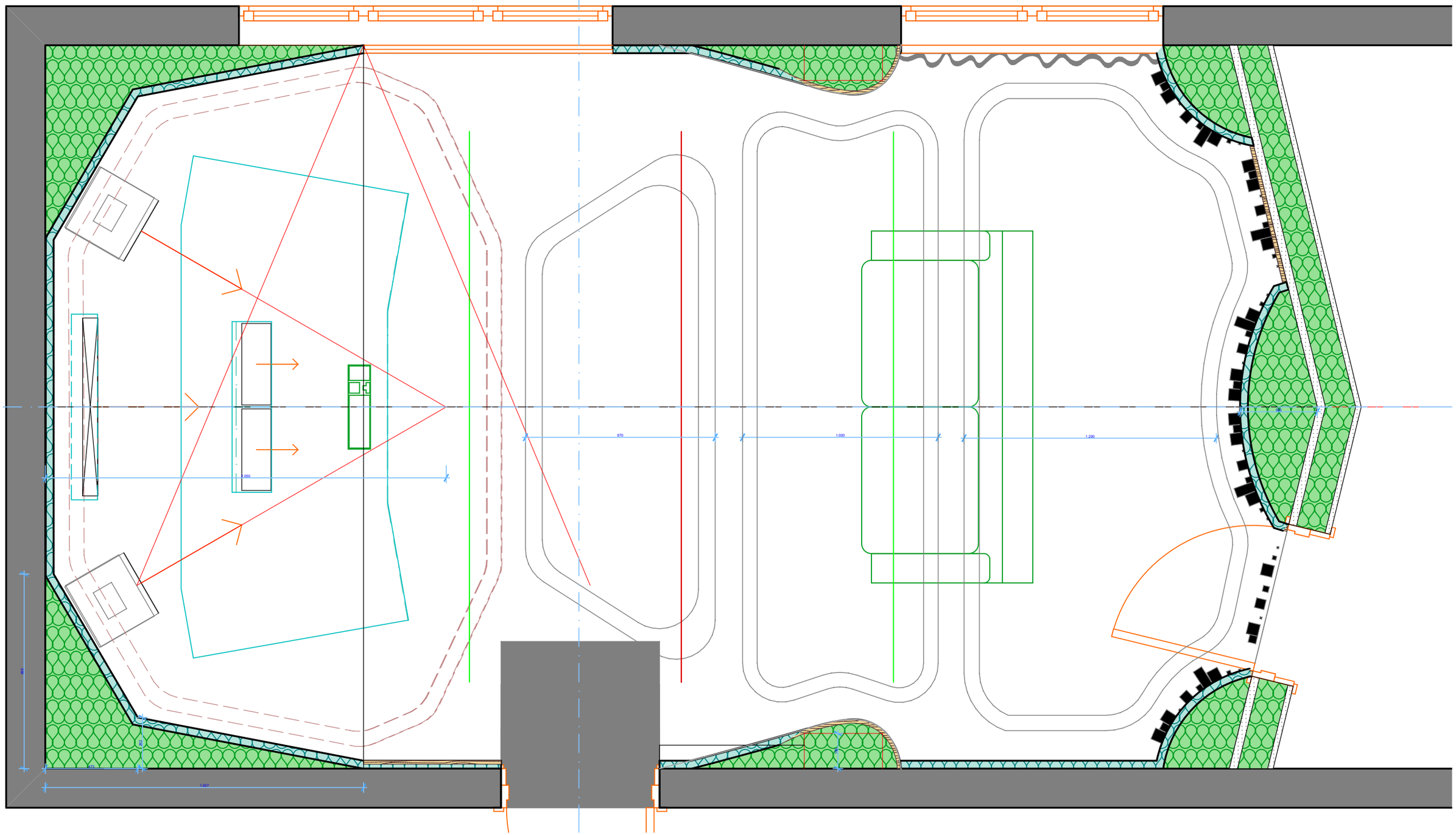
Diffusione acustica

pannello riflettente



Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

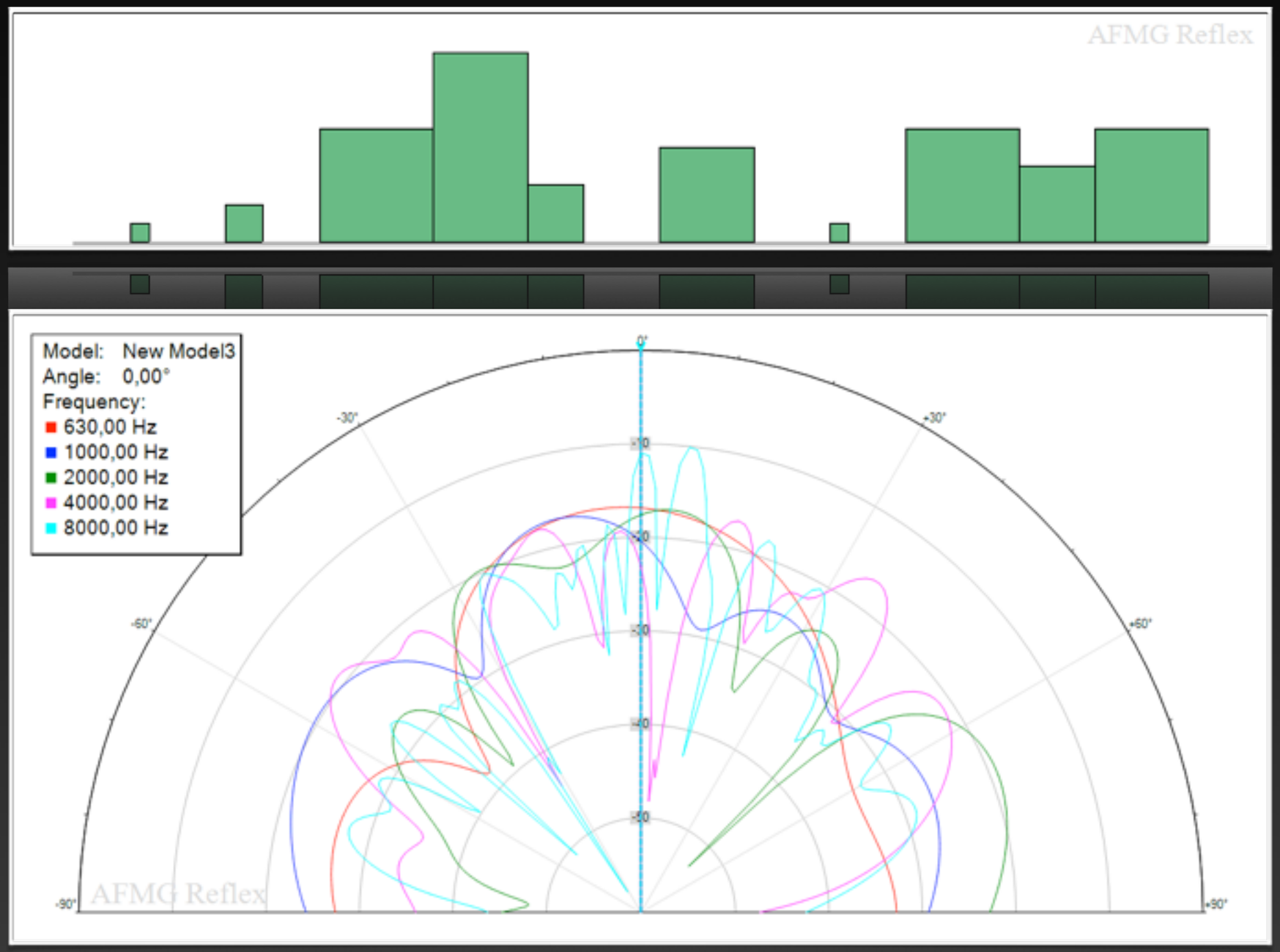
ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM



Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

Slat Absorber/diffuser
SlatSSS



Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Binary Amplitude Diffuser
BadSSS

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Binary Amplitude Diffuser
BadSSS

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

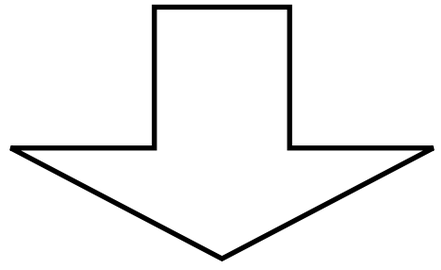
ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

FOX International Channels @ Hammersmith, London UK

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Onde Acustiche

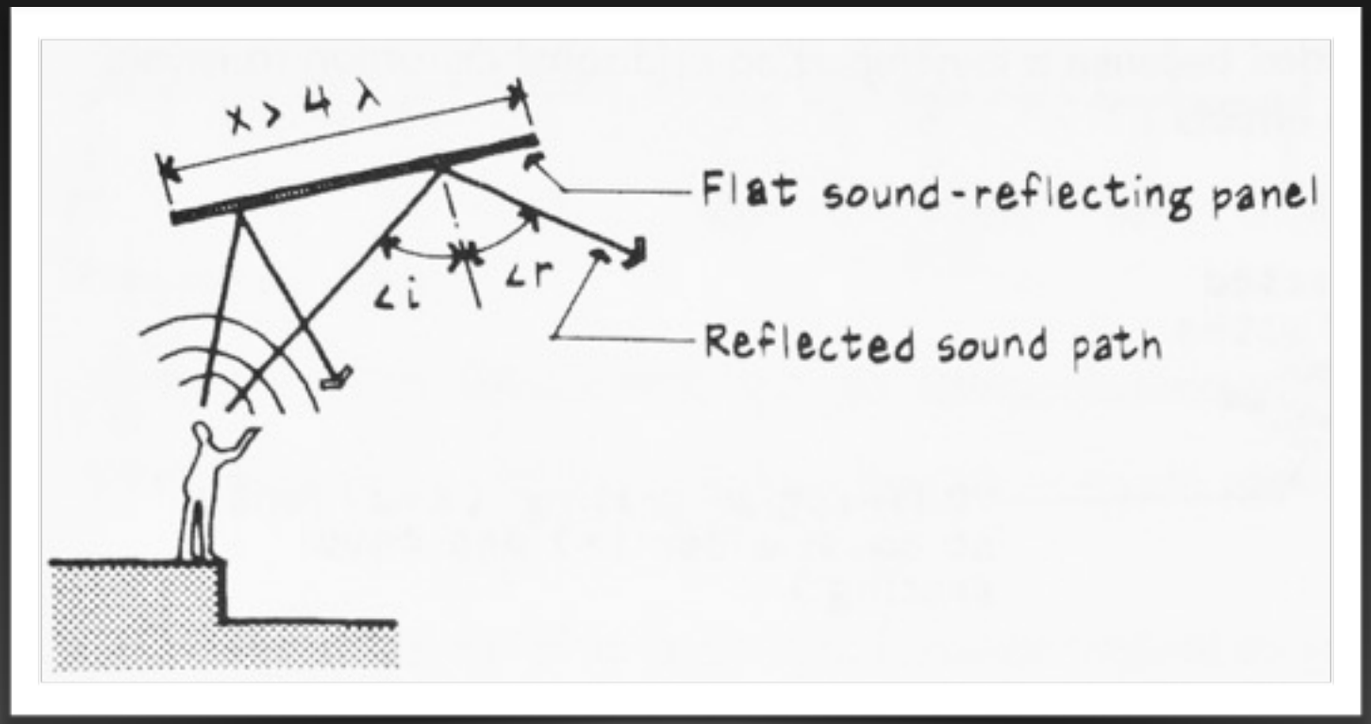
Il suono è un fenomeno di tipo ondulatorio



è soggetto ai tipici comportamenti ondulatori:

Riflessione
Rifrazione
Diffrazione
Interferenza

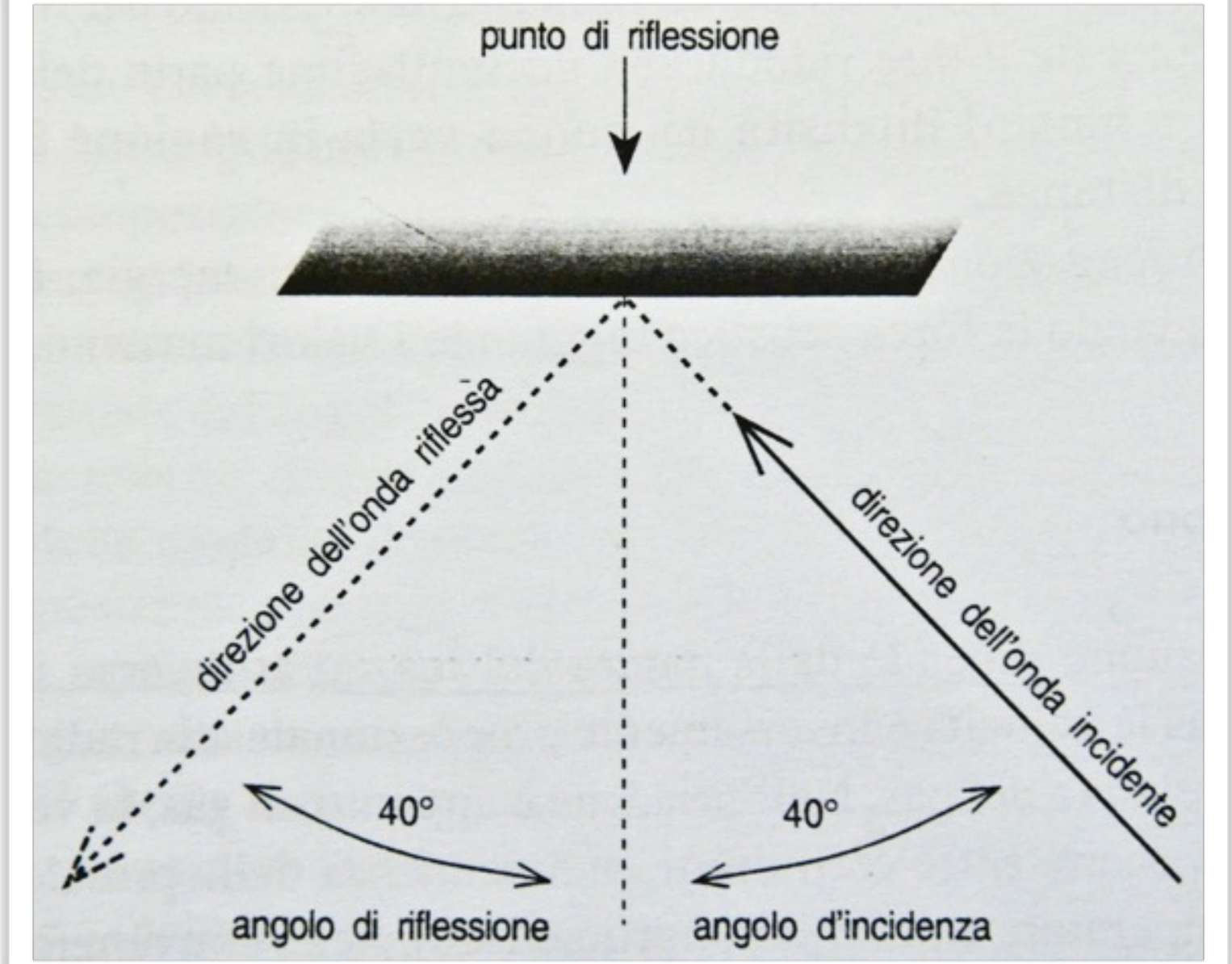
Riflessione acustica



Se la dimensione della superficie x è circa 2÷4 volte la lunghezza d'onda incidente λ, allora l'angolo di incidenza i è uguale all'angolo di riflessione r.

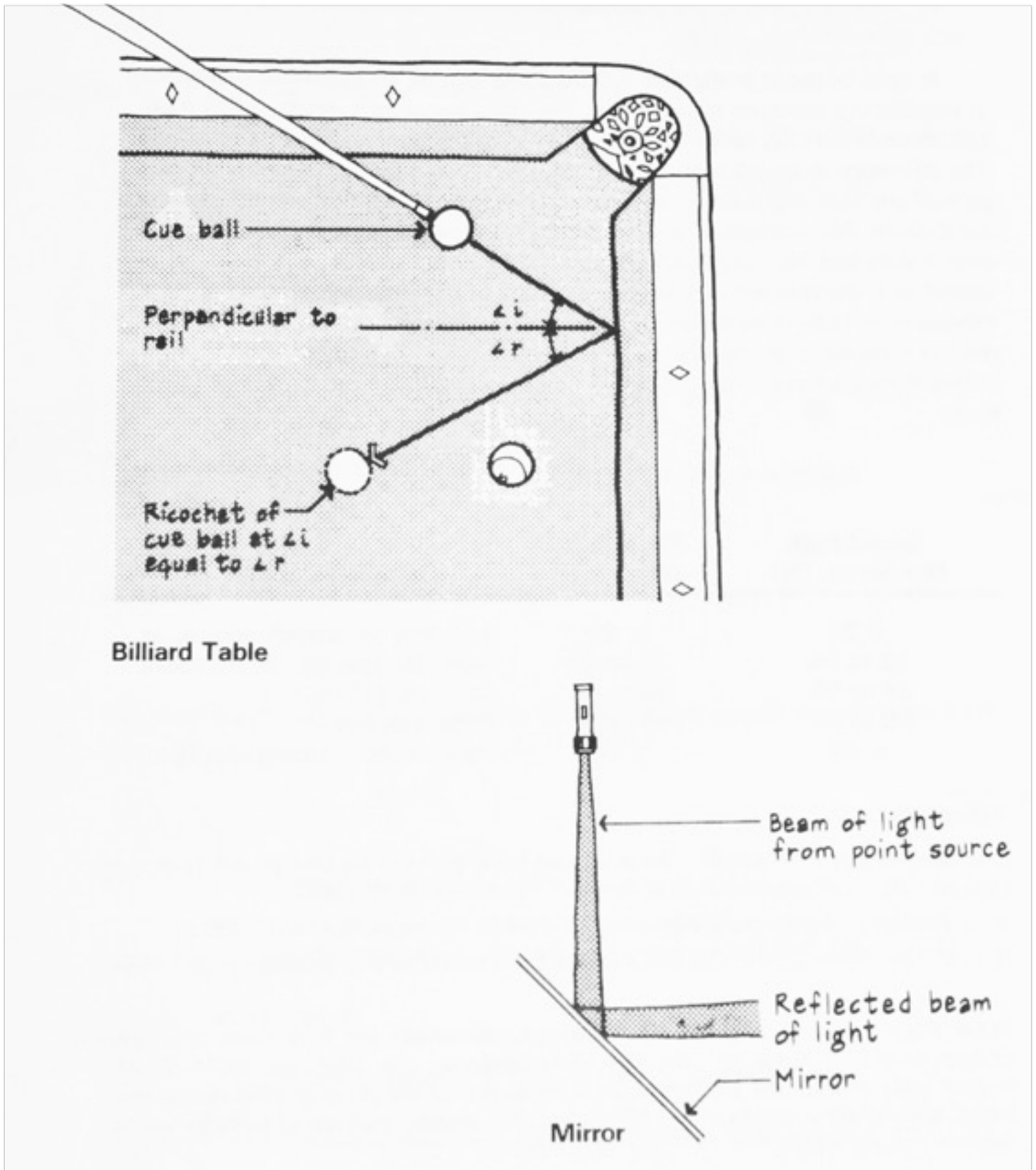
Ad esempio, essendo 0,343 m la lunghezza d'onda di un'onda acustica di 1000 Hz, una superficie di 4λ x 0,343 m = 1,372 m rifletterà onde con frequenze di 1000 Hz e superiori.

Quando un sistema di onde sonore incontra un corpo incapace di vibrare le onde riflettono con una norma che è comune a tutti i fenomeni del genere e secondo la quale l'angolo d'incidenza è uguale a quello di riflessione:



Dalle caratteristiche della superficie riflettente, dipende l'intensità e la qualità della riflessione. In ogni caso, la parte di energia che non viene riflessa è assorbita oppure rifratta.

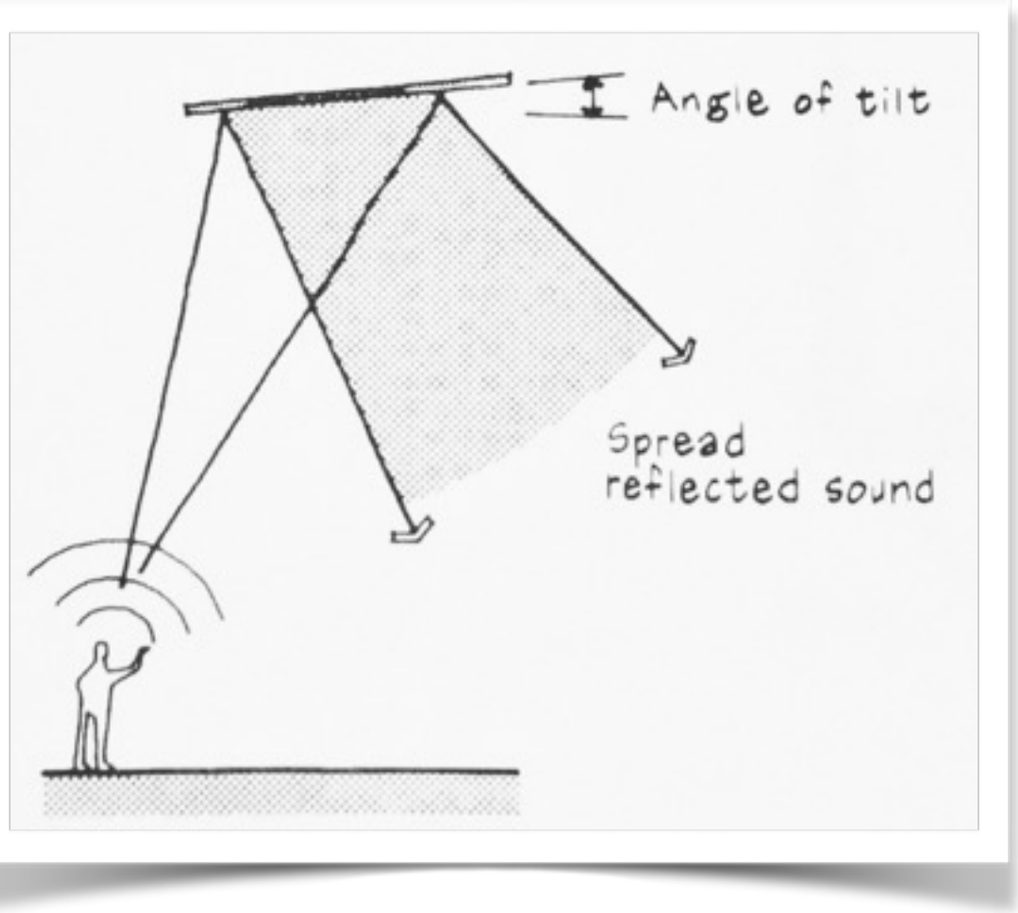
La riflessione speculare è quella che calcoliamo giocando a biliardo oppure guardando ad uno specchio.

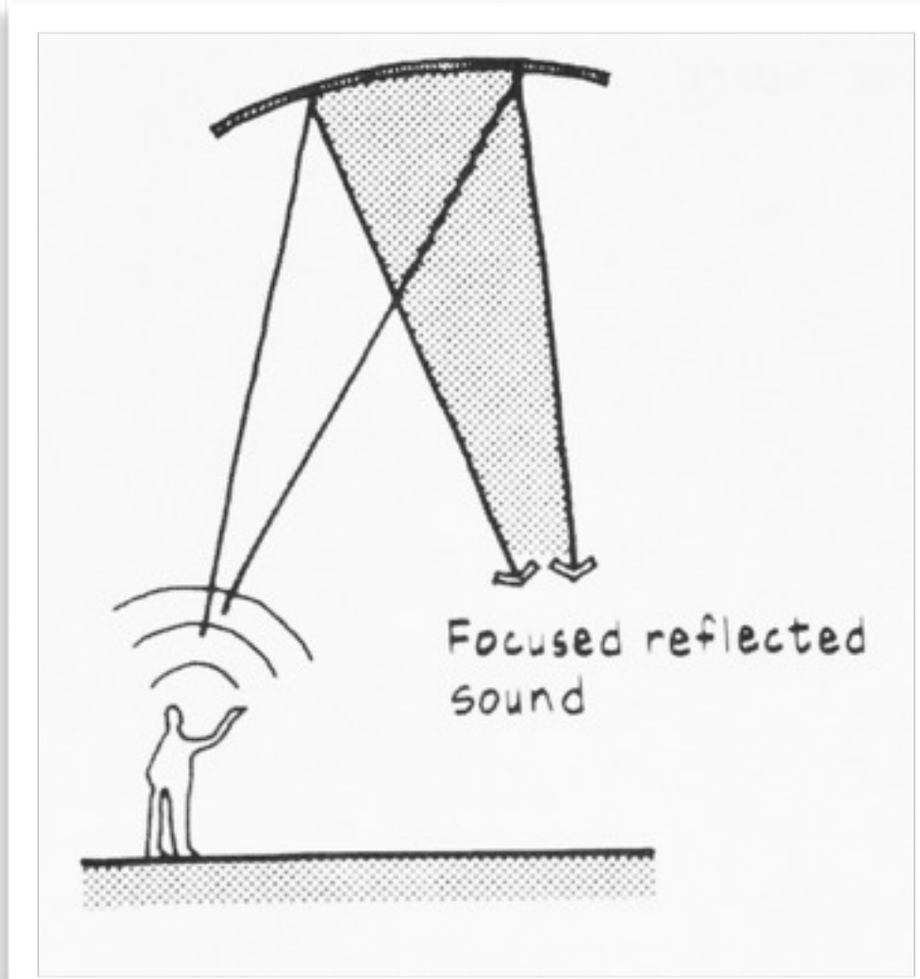


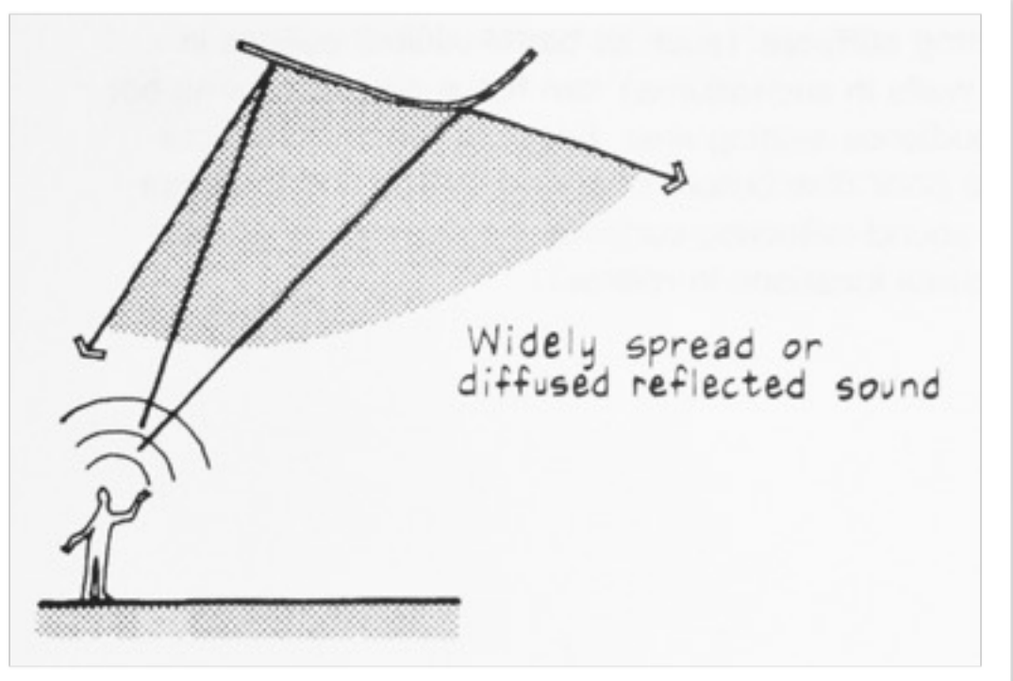
La riflessione speculare è molto utile per indirizzare le riflessioni dove vogliamo noi.

Sicuramente è più efficiente della riflessione focalizzata da una superficie concava.

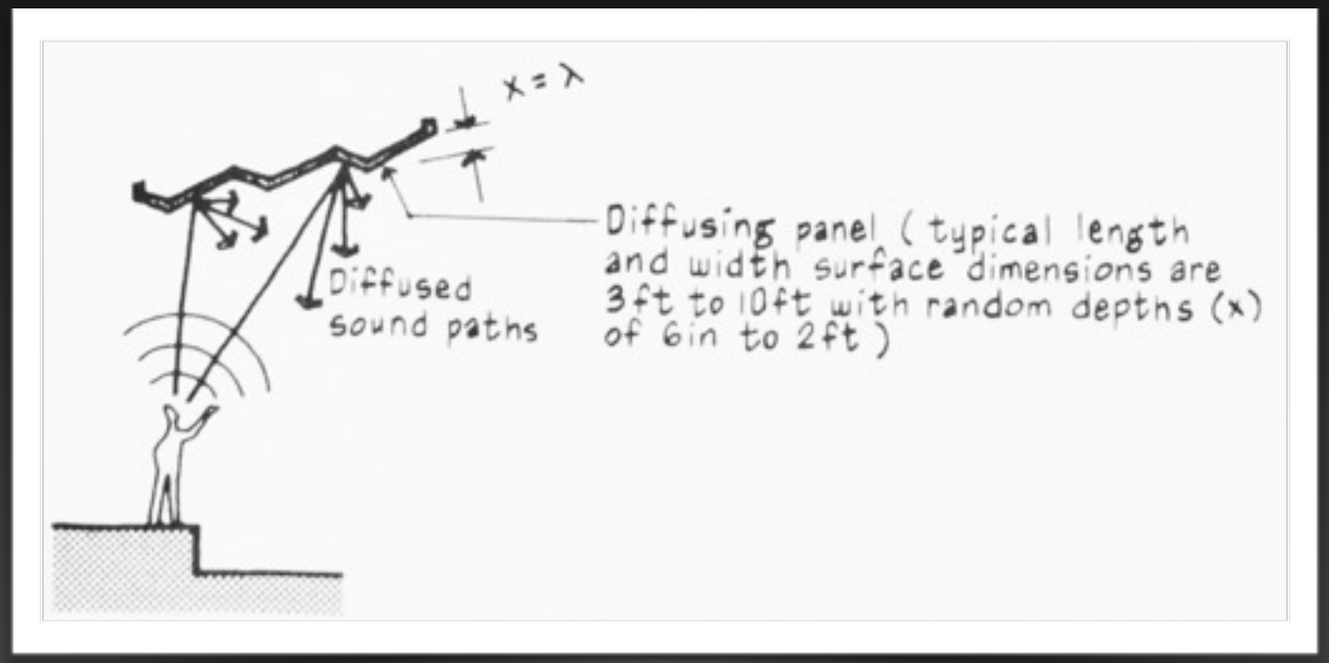
Le superfici convesse possono invece allargare l'angolo di diffusione.



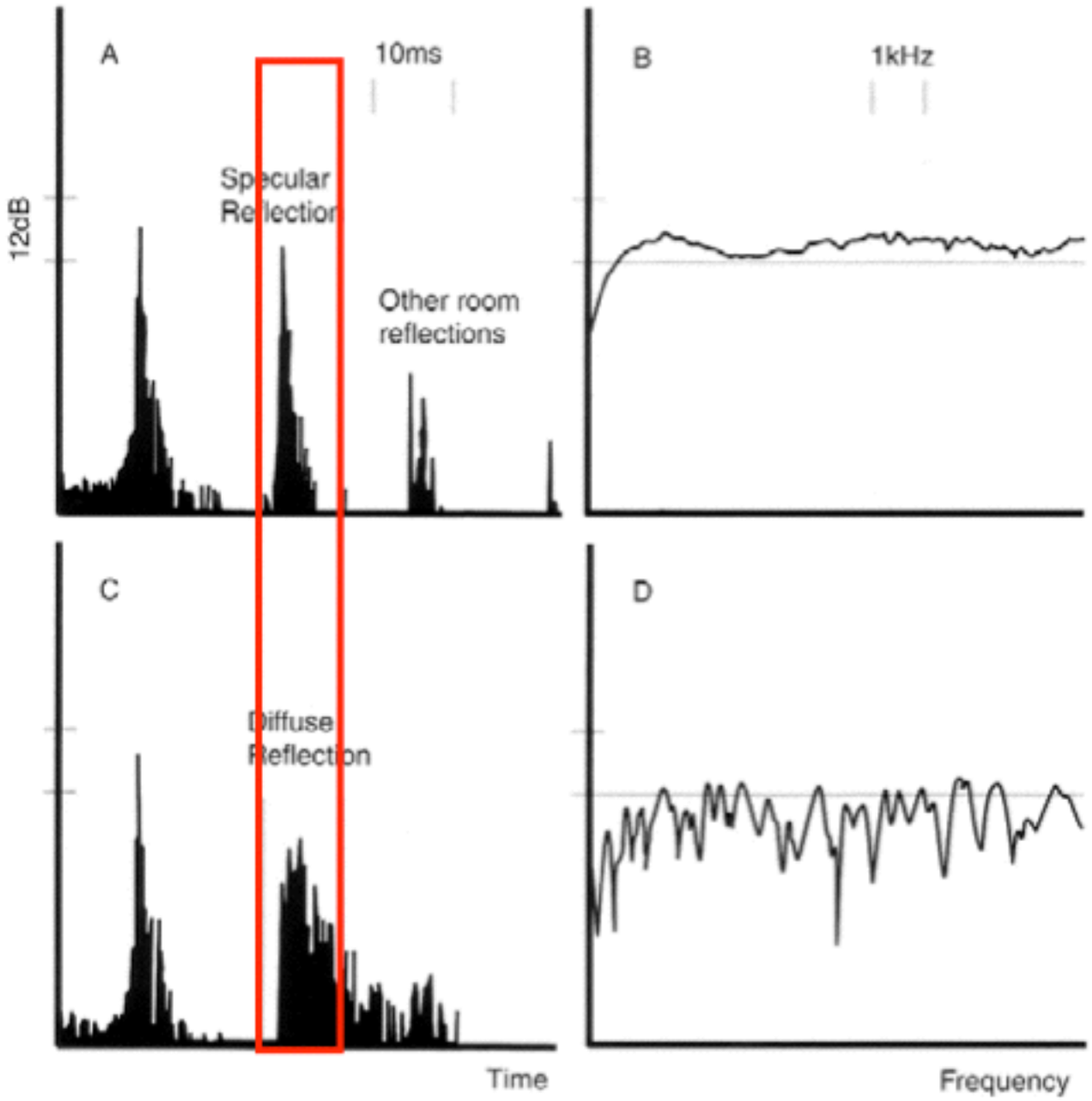




Diffusione acustica



La diffusione acustica è la redistribuzione random (o "scattering") di un'onda sonora da una superficie. Avviene quando la superficie solida ha delle profondità di spessore comparabile alle lunghezze d'onda dell'onda incidente. In questo caso non si ha riflessione speculare ma il suono viene sparpagliato in tutte le direzioni.



Interazione tra suono diretto e riflesso (“colorazione”): risposta all’impulso e risposta in frequenza del suono riflesso da una superficie piana (sopra) e da un diffusore (sotto).

La diffusione del suono in un ambiente chiuso crea una “coda” naturale nel decadimento sonoro che viene molto apprezzata soprattutto in ambito musicale.

Diffusione acustica

Superfici convesse (poly), triangolari etc

Diffusione di Schroeder: QRD, Skyline etc

Diffusione a linee curve elaborate con simulazioni di calcolo numerico

Binary Amplitude Diffusers

Qualsiasi tipo di superficie random o pseudo-random con discrepanze.

Diffusione di Schroeder

Quadratic Residue Diffusors Skyline

- lo spessore più alto è determinato dalla lunghezza d'onda più lunga che dev'essere diffusa
- la larghezza delle buche è circa mezza lunghezza d'onda della più corta lunghezza d'onda che dev'essere diffusa

$$d = n^2 \bmod p$$

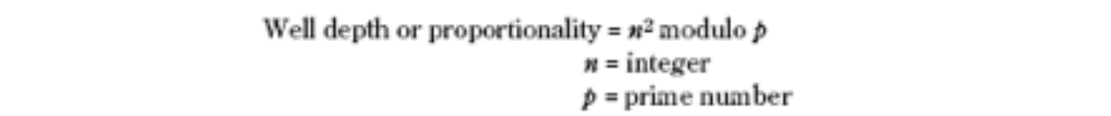
d : profondità di ogni buca

n : numero naturale (intero tra 0 e infinito)

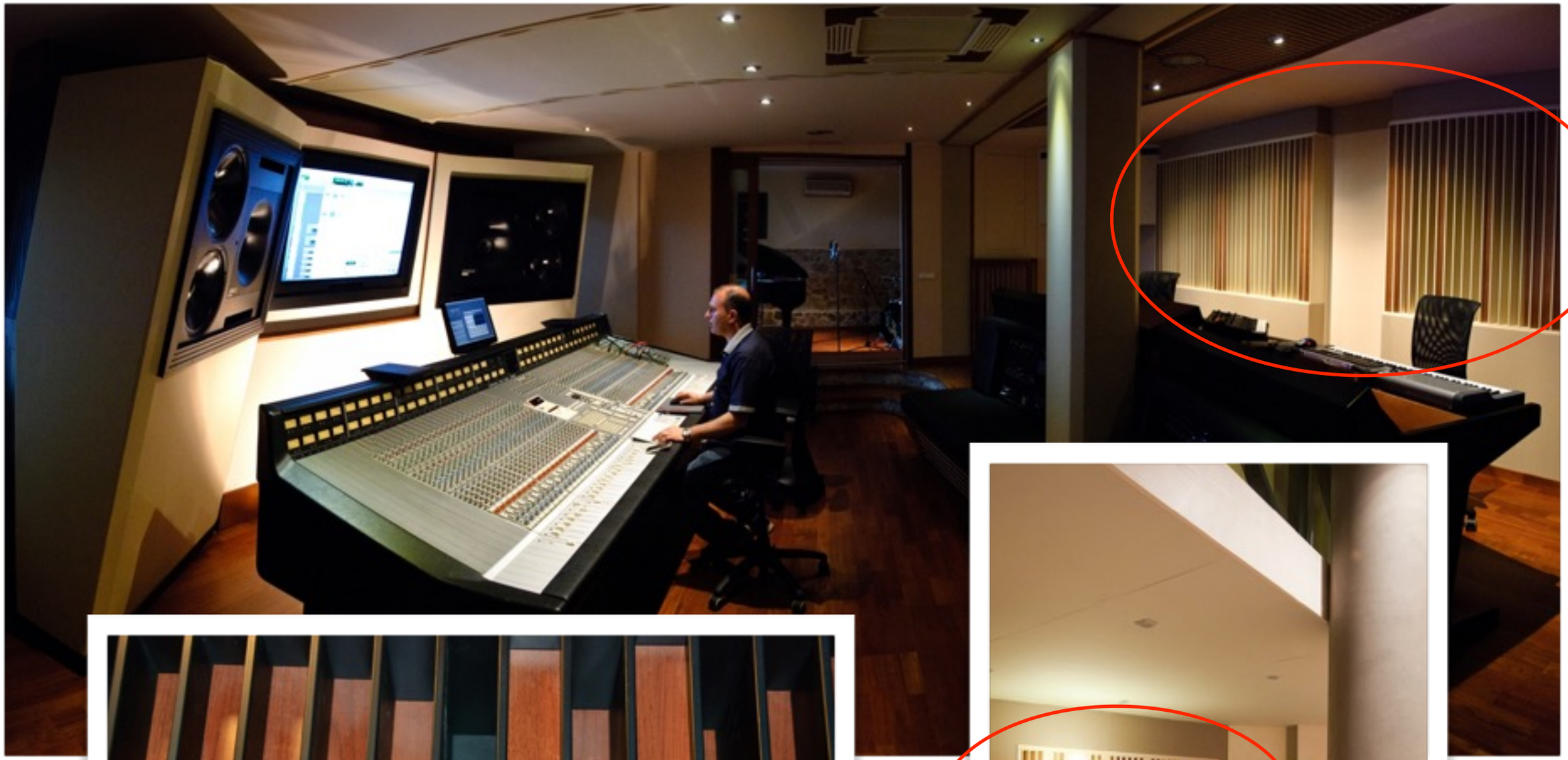
p : numero primo

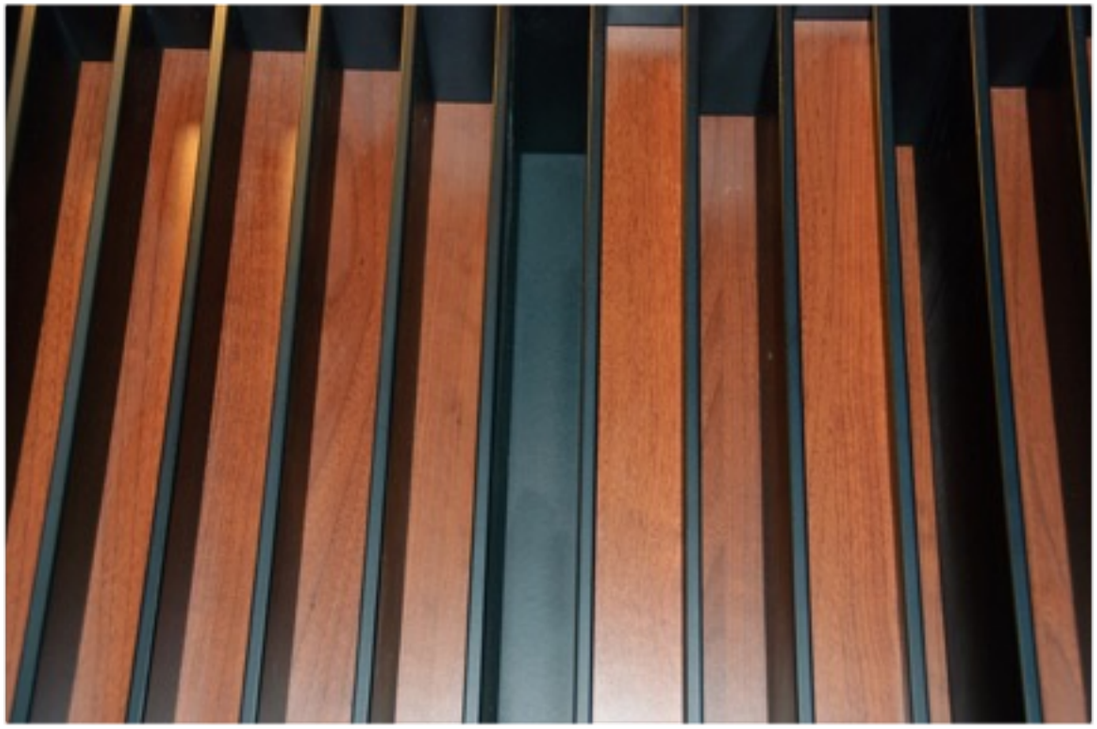
Quadratic-residue sequences

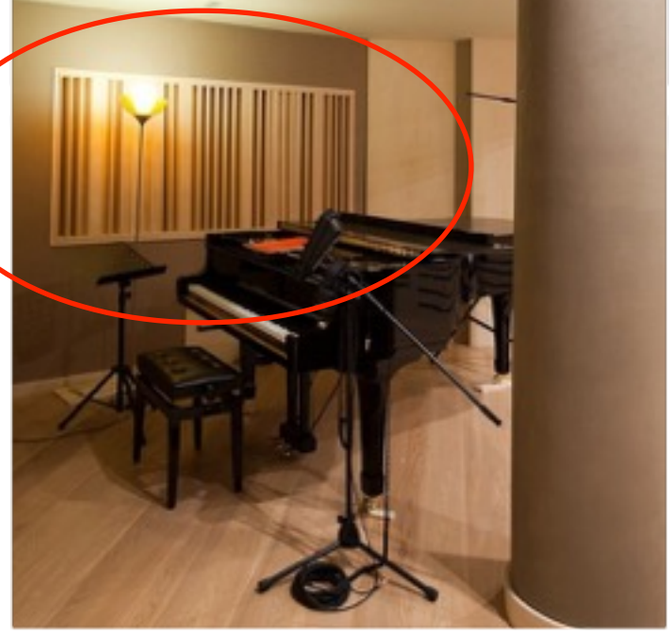
n	p						
	5	7	11	13	17	19	23
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1
2	4	4	4	4	4	4	4
3	4	2	9	9	9	9	9
4	1	2	5	3	16	16	16
5	0	4	3	12	8	6	2
6		1	3	10	2	17	13
7		0	5	10	15	11	3
8			9	12	13	7	18
9			4	3	13	5	12
10			1	9	15	5	8
11			0	4	2	7	6
12				1	8	11	6
13				0	16	17	8
14					9	6	12
15					4	16	18
16					1	9	3
17					0	4	13
18						1	2
19						0	16
20							9
21							4
22							1
23							0



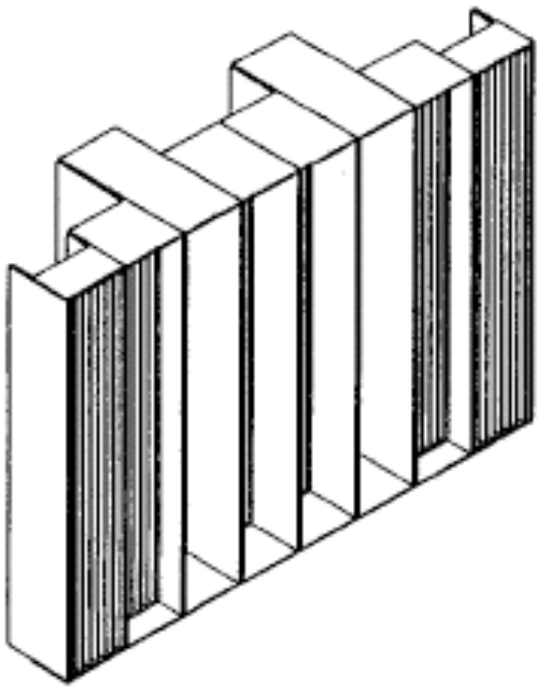
Well depth or proportionality = n^2 modulo p
n = integer
p = prime number

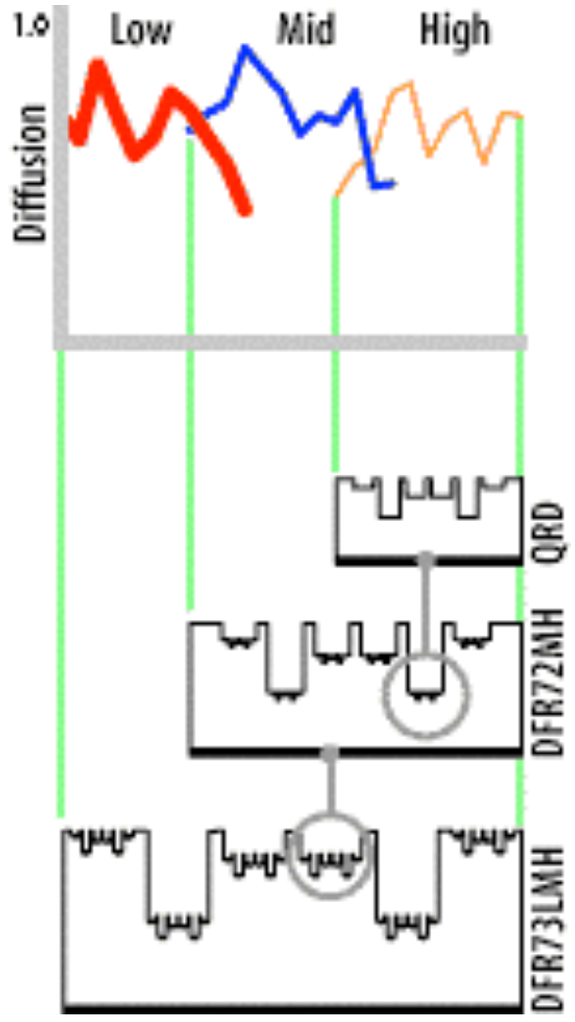






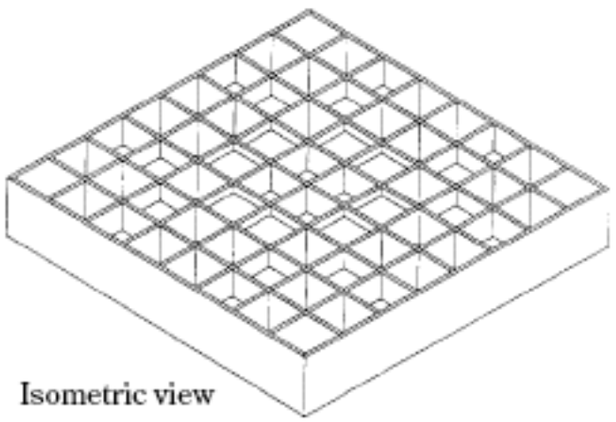
È molto importante capire la frequenza sulla quale agisce il diffusore. Per questo motivo, sulla falsariga della costruzione delle casse a più vie, si costruiscono diffusori a banda larga (Diffractal) che sono tipo dei frattali, ossia in ogni elemento c'è una serie di elementi sempre più piccoli per le frequenze più grandi etc.

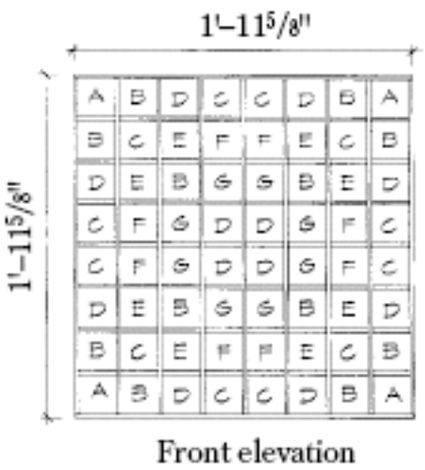


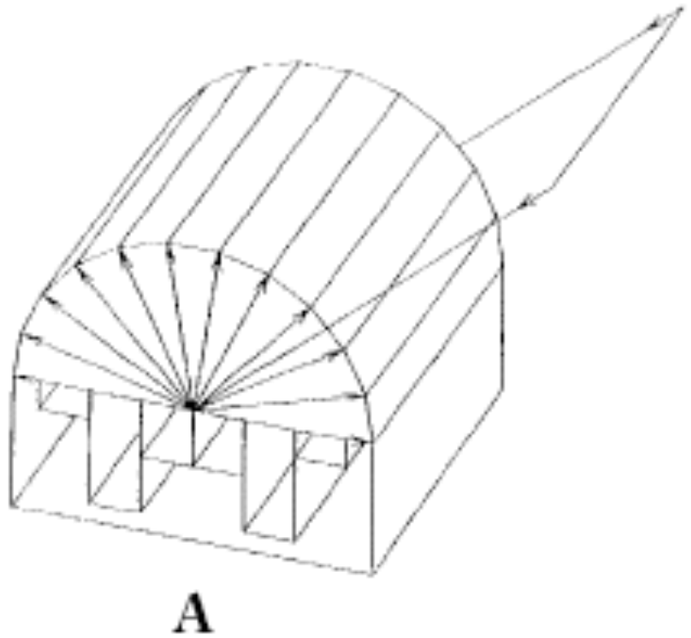


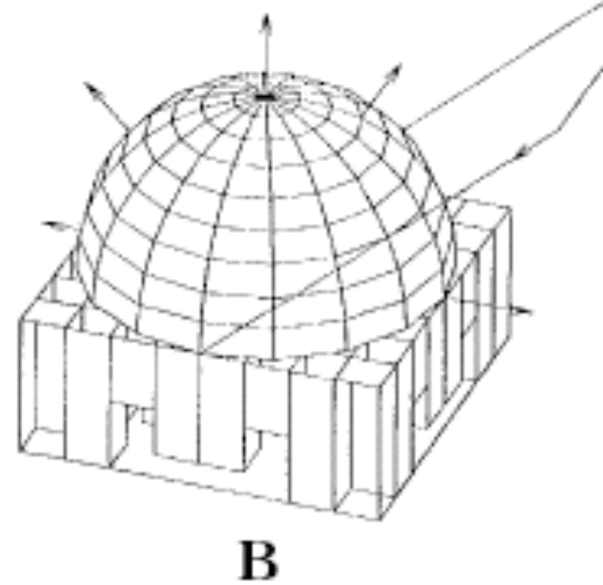
Diffusori in 2d

La distribuzione spaziale delle riflessioni provocate da questo tipo di diffusori è a semicerchio ossia in due dimensioni. Per avere una distribuzione sferica bisognerà utilizzare diffusori in tre dimensioni come l'Omniffusor RPG.









Schema dell'omniffusor

differenza tra QRD/ primitive-root e Omniffusor in 2d

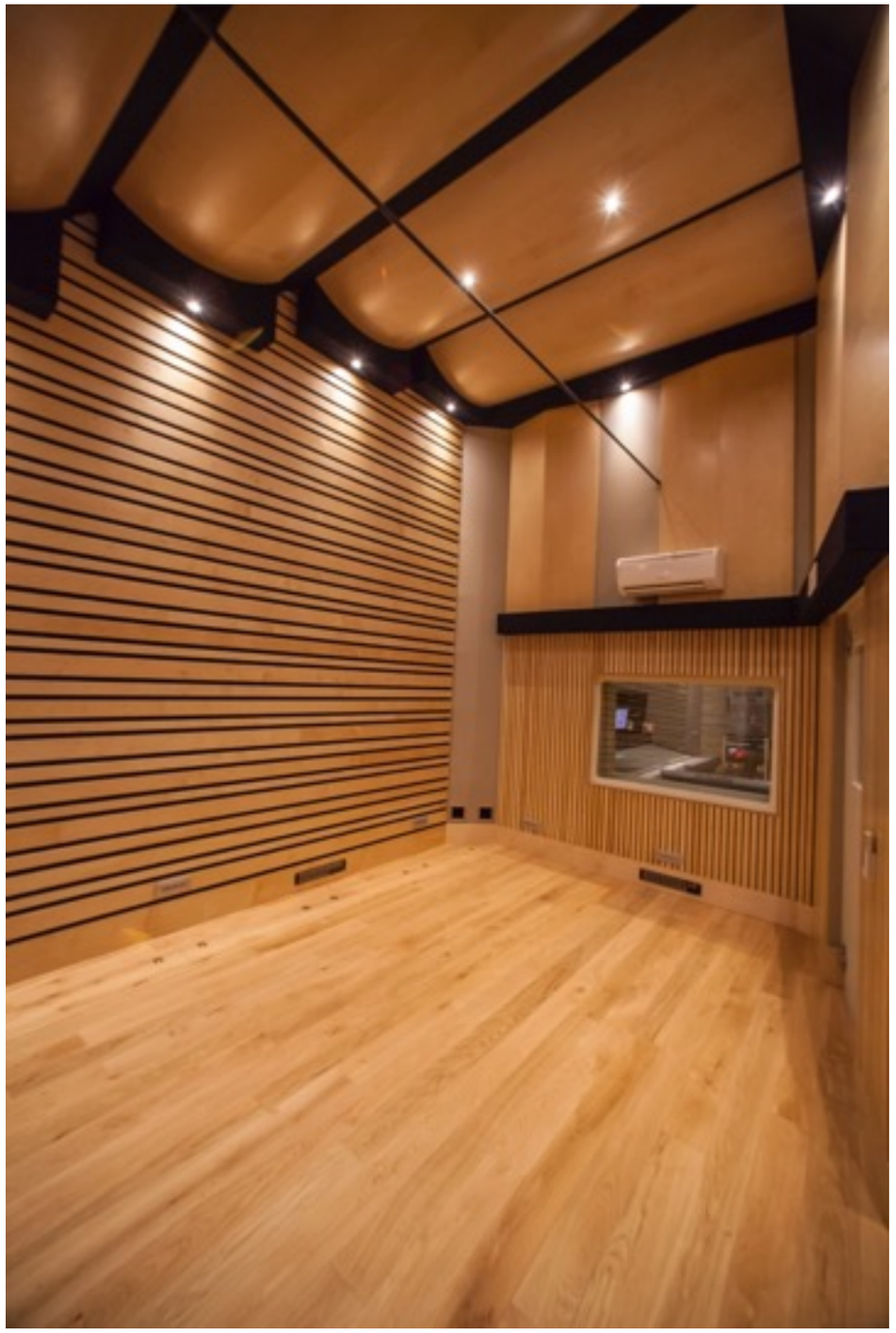
THE
GAME
AGE

CAMALEA WAVE

Sudestudio @ Guagnano (LE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Diffusori a linee curve



Audacia Records @ Avezzano (AQ)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

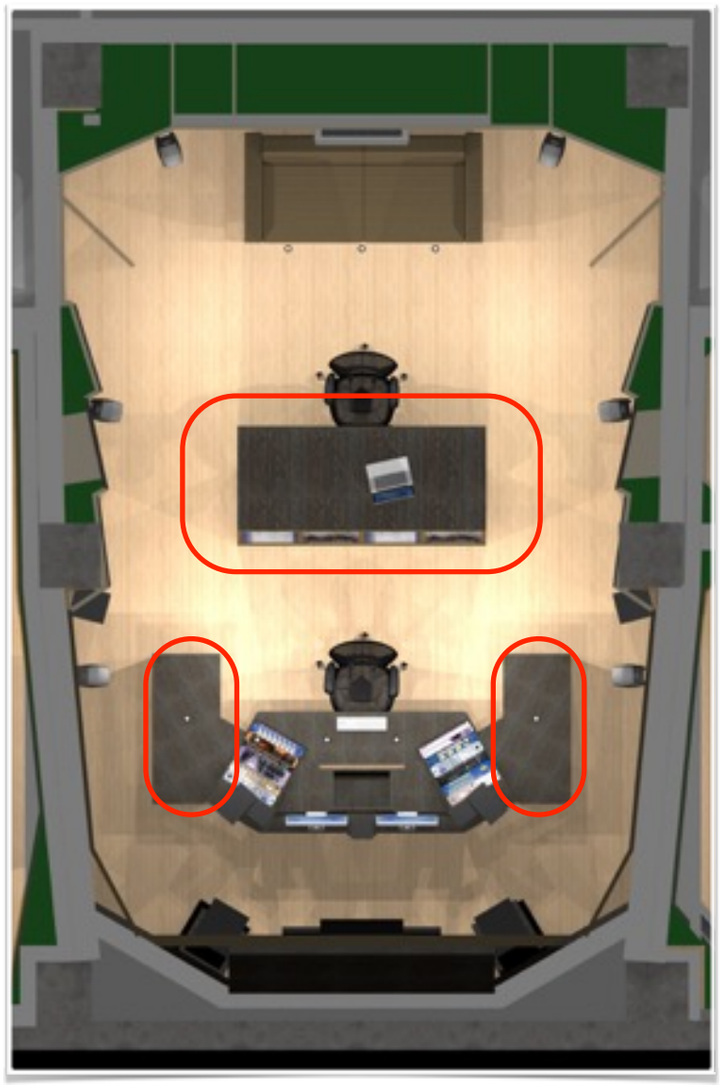
Sudestudio @ Guagnano (LE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

International Sound @ Conversano (BA)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

VIII Ergonomia



House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Mulinetti Studio (Alberto Parodi) @ Genova
Resolution Cover 04/2015

IX Estetica

Recording studios are sites that are privileged to the most intimate moments of music creativity and emotive performance; insulated spaces that give musicians the required conditions in which to experiment and create music.
(A. Watson, 2015)

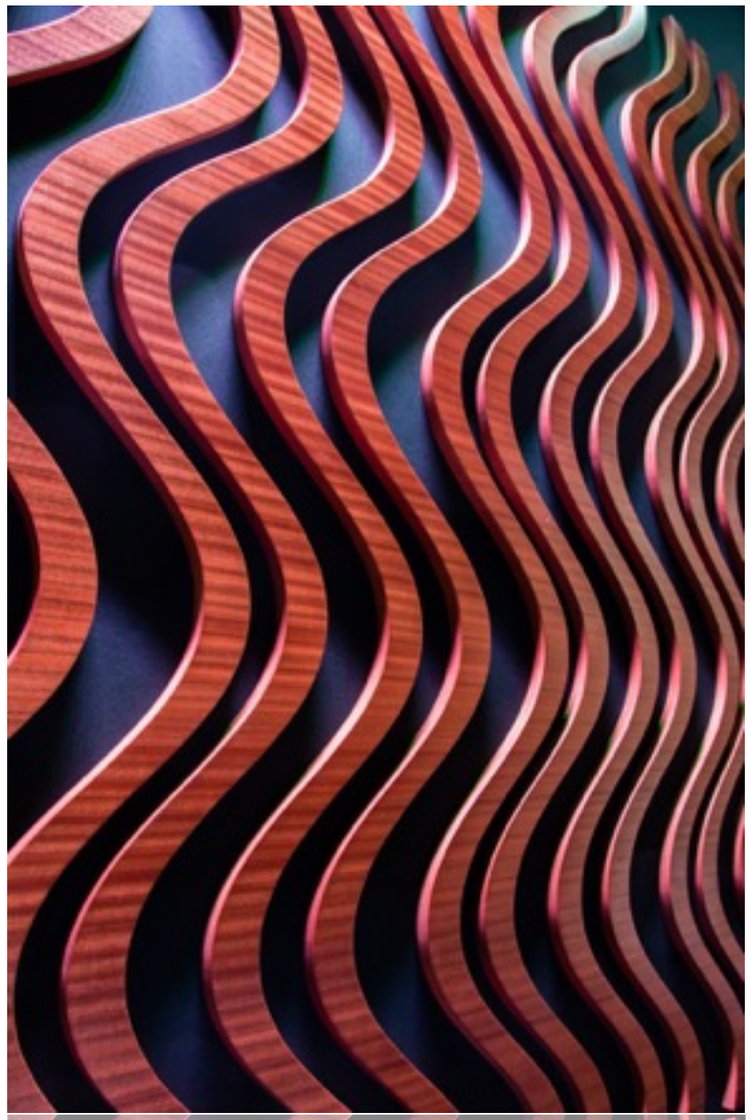
Non sono soltanto sale con una buona acustica ma:

- ambienti “performativi”;
- ambienti dove avvengono delle relazioni (in cui l’intimo e la qualità emotiva dei rapporti umani è messo a nudo).

L'atmosfera in studio influenza le emozioni dei singoli e il "mood" della musica.

Estetica

Così l’estetica dello studio non è una cosa da poco, ma una vera e propria esigenza.
Non parliamo solo di fare un "bello" studio, ma di creare un ambiente:



- **creativo;**
- **d'ispirazione;**
- **confortevole.**

e questo può cambiare a seconda della musica o contenuti audio che verrà prodotto in esso.

X Elettronica – (auto)calibrazione

I sistemi di auto-calibrazione più evoluti, posizionando un microfono di misura al punto d'ascolto, o in diversi punti, registrano una (o più!) **risposta all'impulso** della stanza mediante l'eccitazione di un segnale di test (tipicamente un *sine-sweep*) per ogni singolo monitor.

Dalla risposta all'impulso si riescono ad ottenere moltissime informazioni, comprese quelle di carattere temporale come l'allineamento fine della **fase** tra le singole casse.

In particolare, il sistema calcola anche la **risposta in frequenza** al punto d'ascolto, o per meglio dire, al punto (o ai punti) di misura, e poi applica dei filtri per tentare di migliorarla.

Cosa si può correggere?
problemi sulla risposta in frequenza

Dalla risposta in frequenza (FR) infatti si possono notare la maggior parte dei problemi, spesso però questi sono sovrapposti tra loro.

Si possono ricondurre a due gruppi di problemi fondamentali:

1. **campo acustico della sala** (coinvolgendo quindi la riverberazione e le onde stazionarie)
    - il campo riverberante sopra i 200 Hz “colora” la FR in maniera molto *smooth*, enfatizzando quelle frequenze per le quali si ha più riflessione da parte delle pareti. Questo tipo di effetto è praticamente uguale in ogni punto della stanza. Le onde stazionarie, i cui effetti si notano principalmente sotto i 200 Hz, influiscono invece in modo molto più aggressivo su alcune singole frequenze, e il risultato sulla FR dipende particolarmente dal punto in cui si trova la sorgente e l’ascoltatore.
2. **fenomeni legati alle prime riflessioni** (*o per meglio dire, all’interazione tra onde dirette e riflesse in generale*) o comunque all’interazione con altre superfici nella stanza.
    - sono molto più piccati per alcune frequenze e dipendono dalla posizione della sorgente e del punto d’ascolto perché si basano sulle distanze tra i percorsi diretto e riflesso del suono.

Studi statistici effettuati

per individuare i problemi tipici e capire come porre rimedio

Aki V. Mäkivirta & Christopher Anet (Genelec)

“A Survey Studi Of In-Situ Stereo And Multi-Channel Monitoring Conditions”
111th AES Convention in 2001

Si riportano i dati delle misure di 372 studio monitors in 164 top control room dislocate in tutto il mondo. Le stanze analizzate erano tutte con big monitor.

A parte i dati di riverberazione e altri parametri acustici interessanti, la cosa che colpisce maggiormente è proprio **la parte della FR**.

Studi Statistici

per identificare i problemi tipici e trovare una soluzione

Il risultato finale è che, considerando i **notch** relativi a frequenze inferiori a 1000 Hz nella risposta in frequenza filtrata in terzi d'ottava (third octave smoothed frequency response):

"The median notch depth is 14.2 dB, but 30 dB notches are not uncommon" e che

"In our material the most typical notch frequency is 100 Hz, but deeper notches appear at higher frequencies".

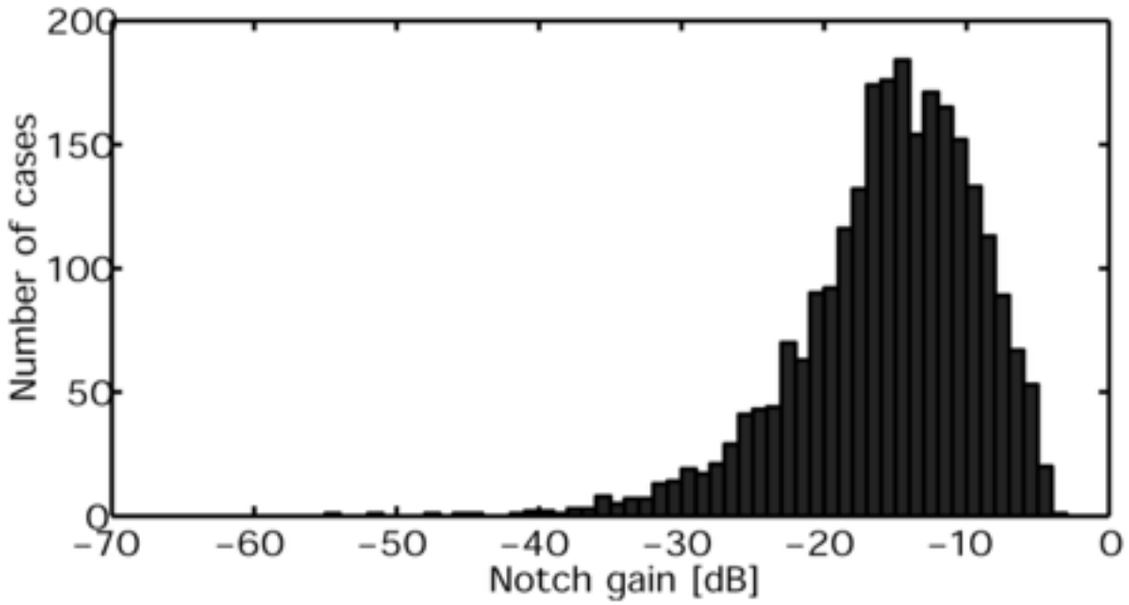


Fig. 28. Notch depth for 10 deepest notches within a frequency band 50Hz to 1kHz. Size of a bin is 1dB, median notch depth is 14.2dB ($N = 250$).

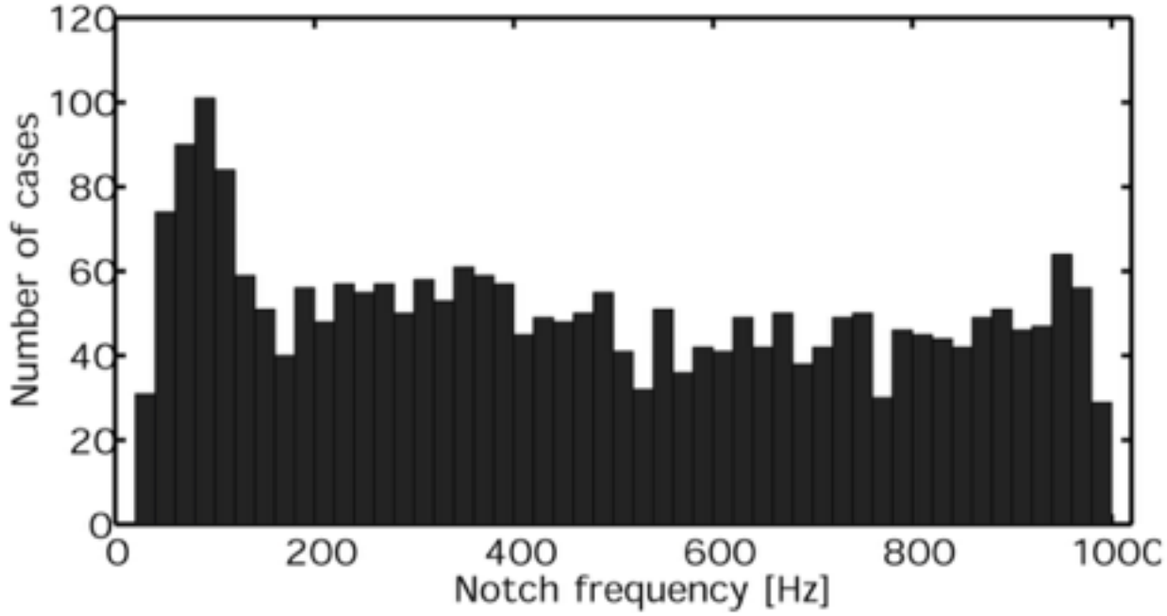
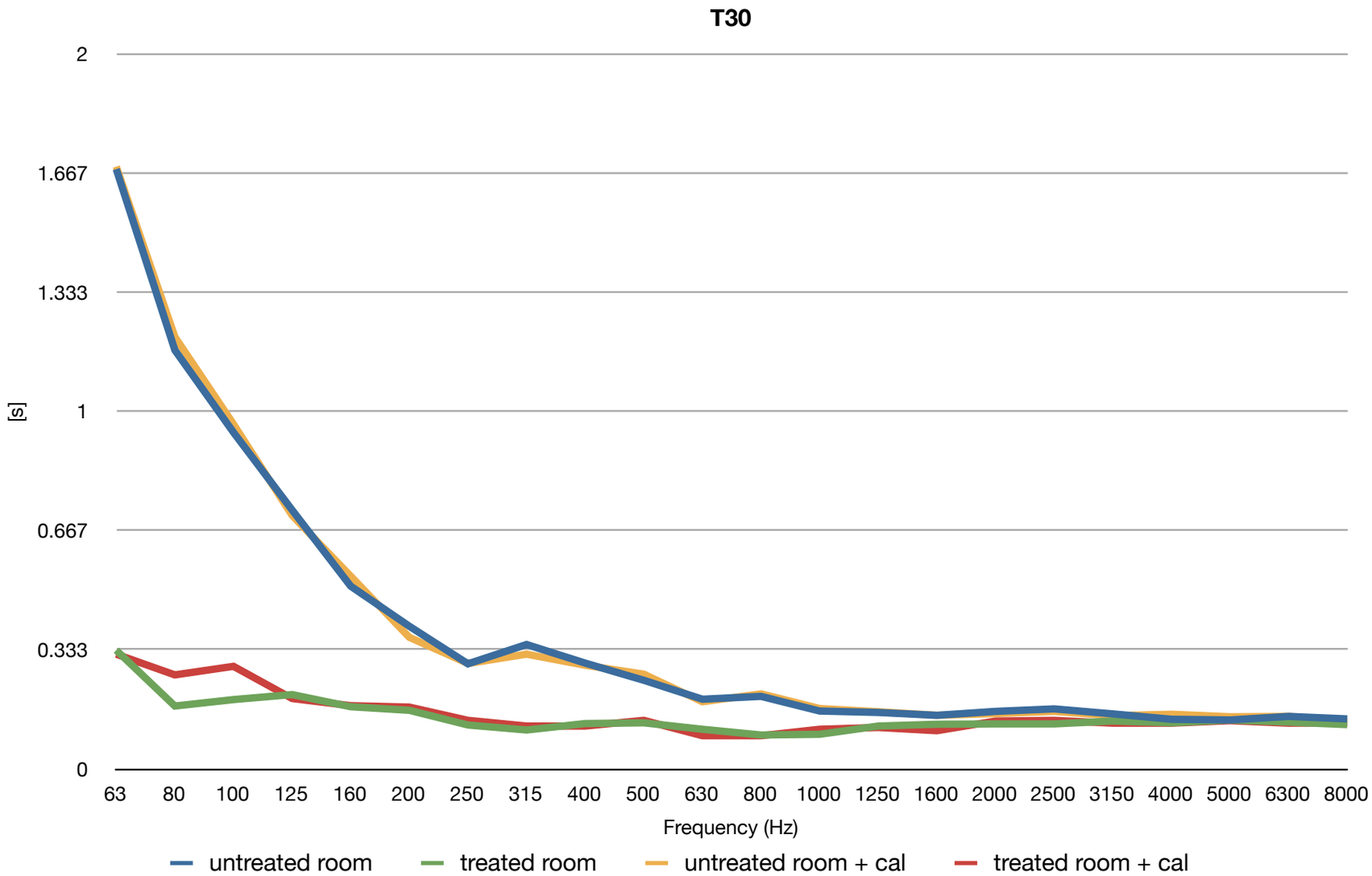


Fig. 29. Notch frequency distribution, bin size is 20Hz ($N = 250$).

caso studio

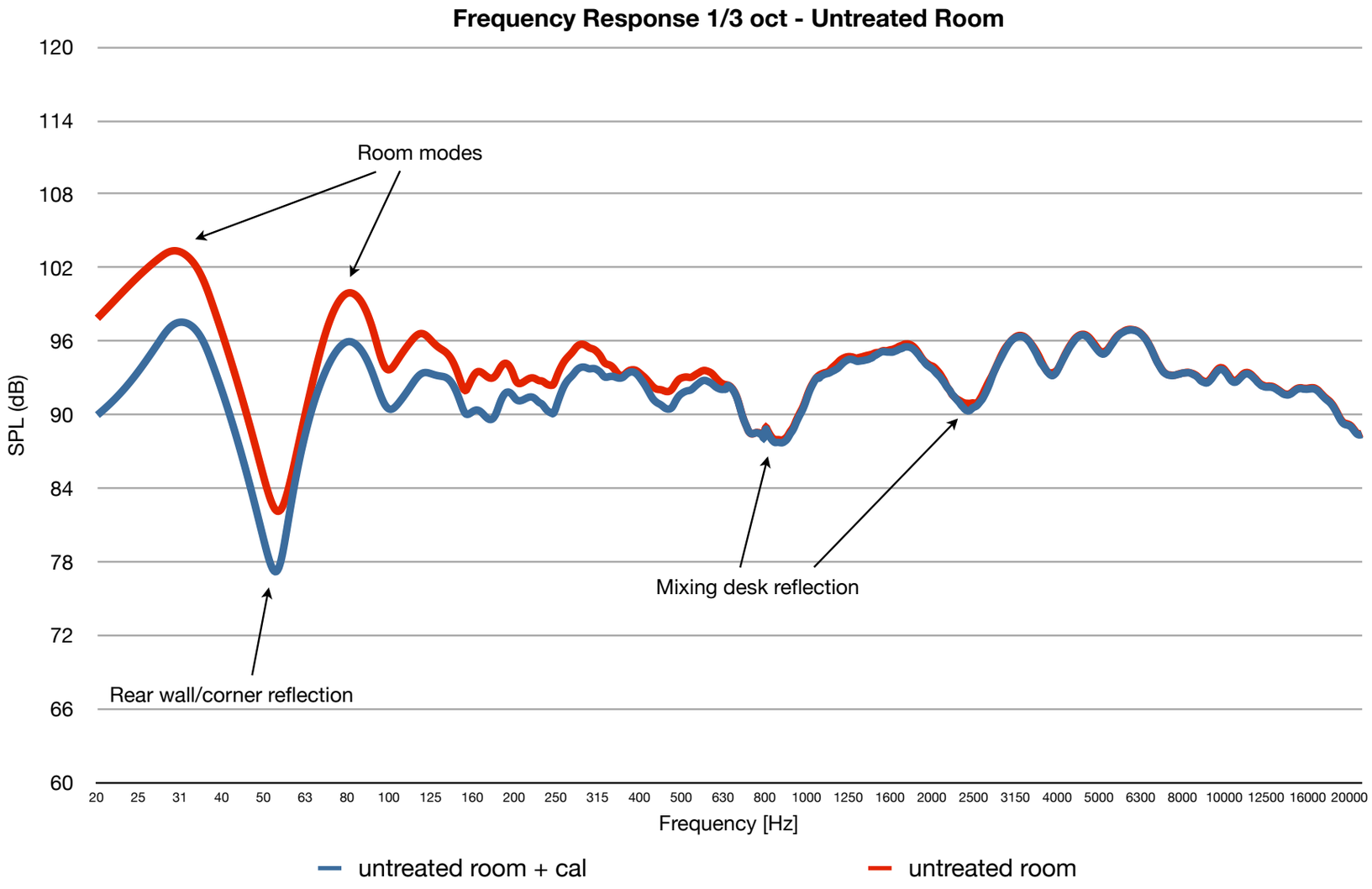
auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente



la calibrazione praticamente con cambia il T30 (e anche altri parametri tipo il Ts)

caso studio

auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente



Sala non trattata:

- buca di circa 10 dB @ 53 Hz piuttosto stretta dovuta all'interazione della cassa con l'angolo e la parete sul retro;
- frequenze vicine alla buca erano invece particolarmente enfatizzate (30 e 80 Hz) dai modi di risonanza della stanza;
- *comb filters*, problemi alle frequenze medie e medio alte che un occhio esperto nota con facilità, tuttavia la risposta resta nei ± 3÷4 dB circa tra 200 Hz e 20 kHz a conferma del fatto che una sala non trattata spesso ha una risposta che, se non analizzata attentamente, può sembrare anche "corretta".

caso studio

auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:

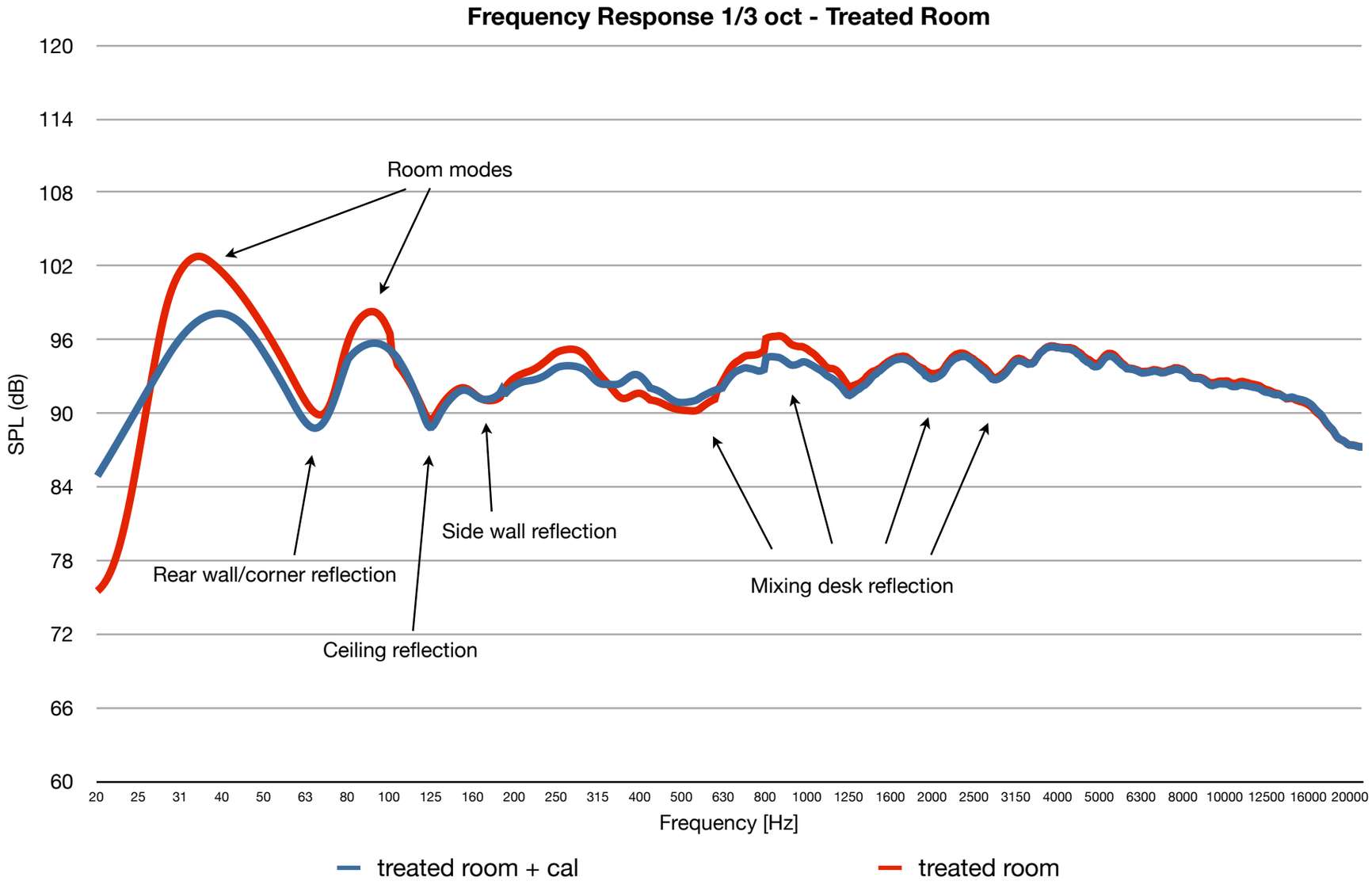
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente

Risultato dell' autocalibrazione nella sala non trattata:

- L'auto-calibrazione riesce a controllare alcune delle riflessioni alle medie frequenze (anche se non riesce a migliorare le riflessioni forti presenti a 800 Hz e i comb filter tra 2-8 kHz) e a bilanciare l'energia sonora sul registro delle basse e medio basse frequenze, rendendo effettivamente l'ascolto più controllato, ma paradossalmente il notch a 53 Hz viene leggermente peggiorato.
- All'ascolto la situazione è migliorata, sembra sicuramente tutto più bilanciato, ad esempio non si nota più il booming della big-drum, ma sulle basse non si ha assolutamente la percezione di cosa succede e a che frequenza, anche perché ricordiamo che il tempo di riverberazione è rimasto ovviamente estremamente lungo.

caso studio

auto-calibrazione di casse identiche in stanze differenti:
la prima trattata e la seconda non trattata acusticamente



Sala trattata:

- Pur trattandosi di una sala di piccole dimensioni, e quindi con modi di risonanza particolarmente ravvicinati in frequenza, è stato effettuato un certo trattamento acustico per controllare le basse frequenze (in particolare sul soffitto, sul retro della sala e sui lati) che porta l'ascolto in generale già a buoni livelli.
- In questo caso l'auto-calibrazione ha portato la sala a dei livelli professionali, migliorando sostanzialmente la linearità sulle medie frequenze (riflessioni del banco e degli outboard) e controllando tutte le risonanze e la minimum phase low frequency boost.

Cosa può migliorare l'auto-calibrazione?

per individuare i problemi tipici e capire come porre rimedio

- molti sistemi di auto-calibrazione funzionano splendidamente nel registro medio alto, mettendo a fuoco le casse e dando la giusta brillantezza anche in situazioni d'ascolto in cui non vi sia la giusta diffusione sulle medio-alte frequenze;
- lavorano molto bene anche per tutti i problemi relativi all'interazione con superfici rigide come le grandi console, e i rack tipici dei piccoli studi moderni pieni di outboard vicini al punto d'ascolto. Questi problemi si presentano generalmente tra 500 ÷ 2000 Hz.
- sulle basse frequenze invece l'efficacia è strettamente relativa al problema. Sicuramente qualsiasi sistema di calibrazione serio lavora molto bene nel contenere le basse frequenze che vengono enfatizzate dalla vicinanza di una superficie rigida come succede quando si accostano le casse al muro o si montano in-wall (in poche parole quando si devono effettuare delle equalizzazioni a minimum phase low frequency boost). Se però sono presenti dei fenomeni a fase non nulla molto forti, come quelli generati dalle riflessioni verso le superfici della stanza l'auto-calibrazione generalmente ha dei problemi.
  In queste situazioni i software di calibrazione si comportano in modo differente, e quelli più "intelligenti" mi sembra che "capiscano" che su alcune cose sia meglio non intervenire.

Dove fare attenzione all'auto-calibrazione?

per individuare i problemi tipici e capire come porre rimedio

- il comportamento modale di una stanza, è strettamente legato al punto di misura.
  In questo caso, l'SPL relativo alla frequenza dell'onda stazionaria passa da un massimo a un minimo (con facili variazioni di 20 dB) magari in pochi cm, e chiaramente, se il nostro sistema di auto-calibrazione si basa sul posizionamento del microfono in un solo punto d'ascolto, forse si riesce a ottimizzare l'ascolto in una zona veramente molto piccola, peggiorandolo nel resto della sala.
- per questi motivi preferisco utilizzare generalmente un sistema multipoint.

“ultimi” miti sfatati

8-9: auto-calibrazione si/no

8. *l’auto-calibrazione non serve a niente se una sala è trattata bene;*

Falso! I sistemi di auto-calibrazione forniscono il meglio di loro stessi in situazioni come gli home e project studios, dove ci sono limitazioni fisiche per poter garantire risultati soddisfacenti usando soltanto il trattamento acustico. Loro lavorano inoltre molto bene come fine-tuning per il “minimum phase low frequency boost” e per controllare gli effetti delle riflessioni tipiche della console e dell’outboard, che è sempre molto utile anche in situazioni più professionali con big monitor incassati.

9. *il trattamento acustico non serve a niente se ho l’auto-calibrazione.*

Falso! Oggigiorno i sistemi di auto-calibrazione non sono adeguati per poter risolvere qualsiasi problema acustico in una sala, perché, per la loro stessa natura, non sono adatti a gestire alcuni dei fenomeni che creano i problemi stessi.

Come si spera sia anche evidente nel caso studio, l’auto-calibrazione non rimpiazza un trattamento acustico adeguato.

Considerazioni aggiuntive!

subwoofer

Una nota la devo spendere sui subwoofer.

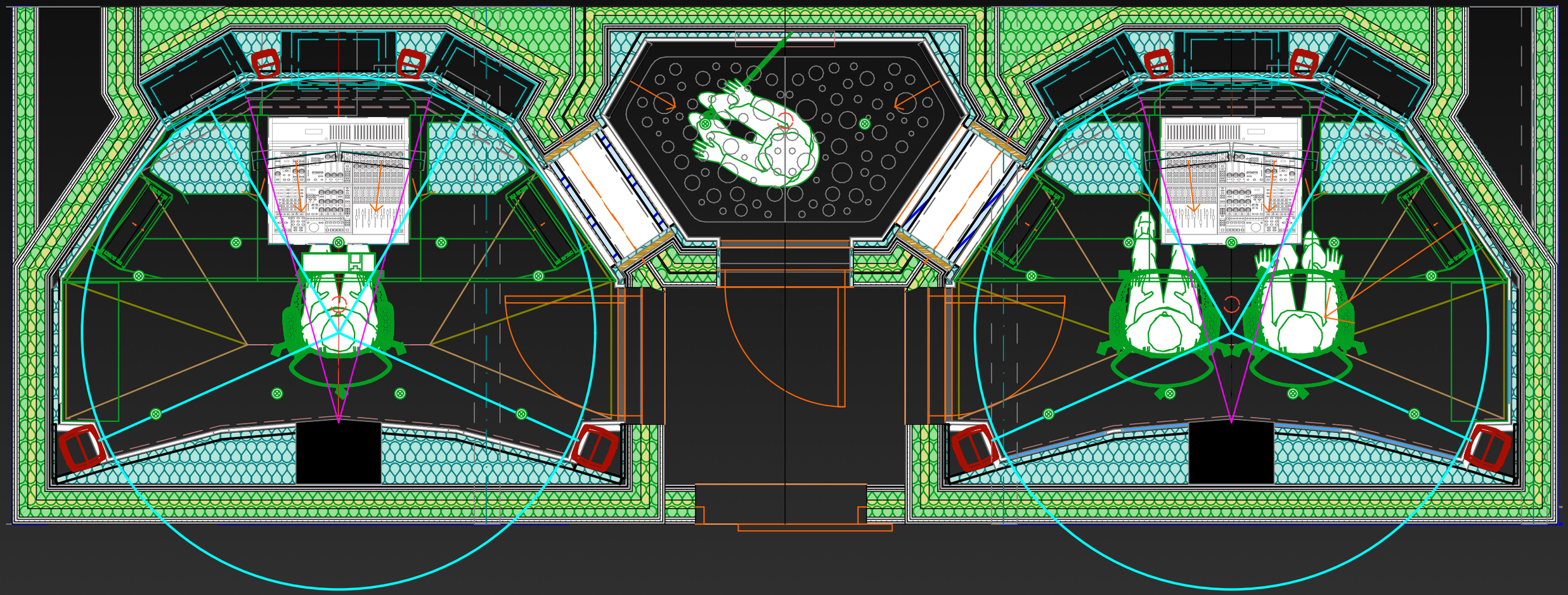
Dopo tutto quello che è stato detto nelle sezioni precedenti, **se la fase e il livello non sono perfettamente calibrati, è probabilmente meglio non avere un subwoofer**.

Più è peggiore l'acustica di una sala, più è difficile integrare correttamente il subwoofer nel sistema di ascolto. Il nostro orecchio è così impreciso alle basse frequenze (si ricordi che ascoltando un segnale sinusoidale a 35 Hz, per percepire ed ascoltare un qualsiasi cambiamento di livello, la sorgente sonora deve aumentare di almeno 9 dB) che **la corretta integrazione di un subwoofer in una stanza non è realizzabile senza un sistema di misurazione**.

In realtà, molti subwoofer che trovo nelle sale dei clienti sono completamente fuori controllo. In questo caso l'auto-calibrazione (e in particolare l'auto-fase) è veramente utile.

FOX International Channels @ Hammersmith, London UK

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM



FOX International Channels @ Hammersmith, London UK

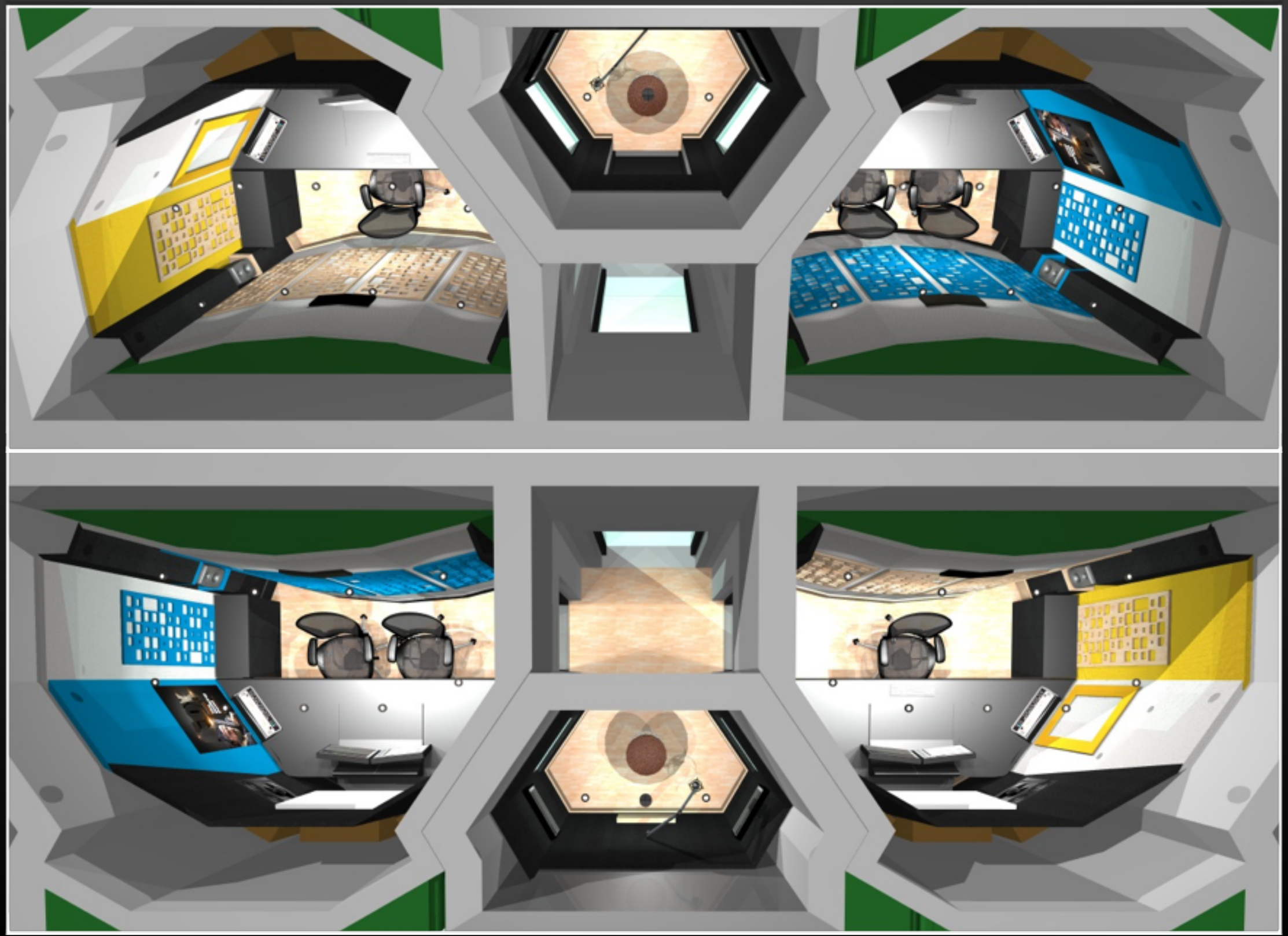
ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

FOX International Channels @ Hammersmith, London UK

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

FOX International Channels @ Hammersmith, London UK

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM



Small Room Acoustics Supplement

AUDIO FOR BROADCAST, POST, RECORDING AND MULTIMEDIA PRODUCTION

resolution

V14.2 MARCH-APRIL 2015

50 Small but beautiful
54 Small multichannel control rooms for broadcast
59 Introducing nAxial
61 Development and scaling
63 Meet your maker: Neumann Monitors

FOX International Channels @ Hammersmith, London UK

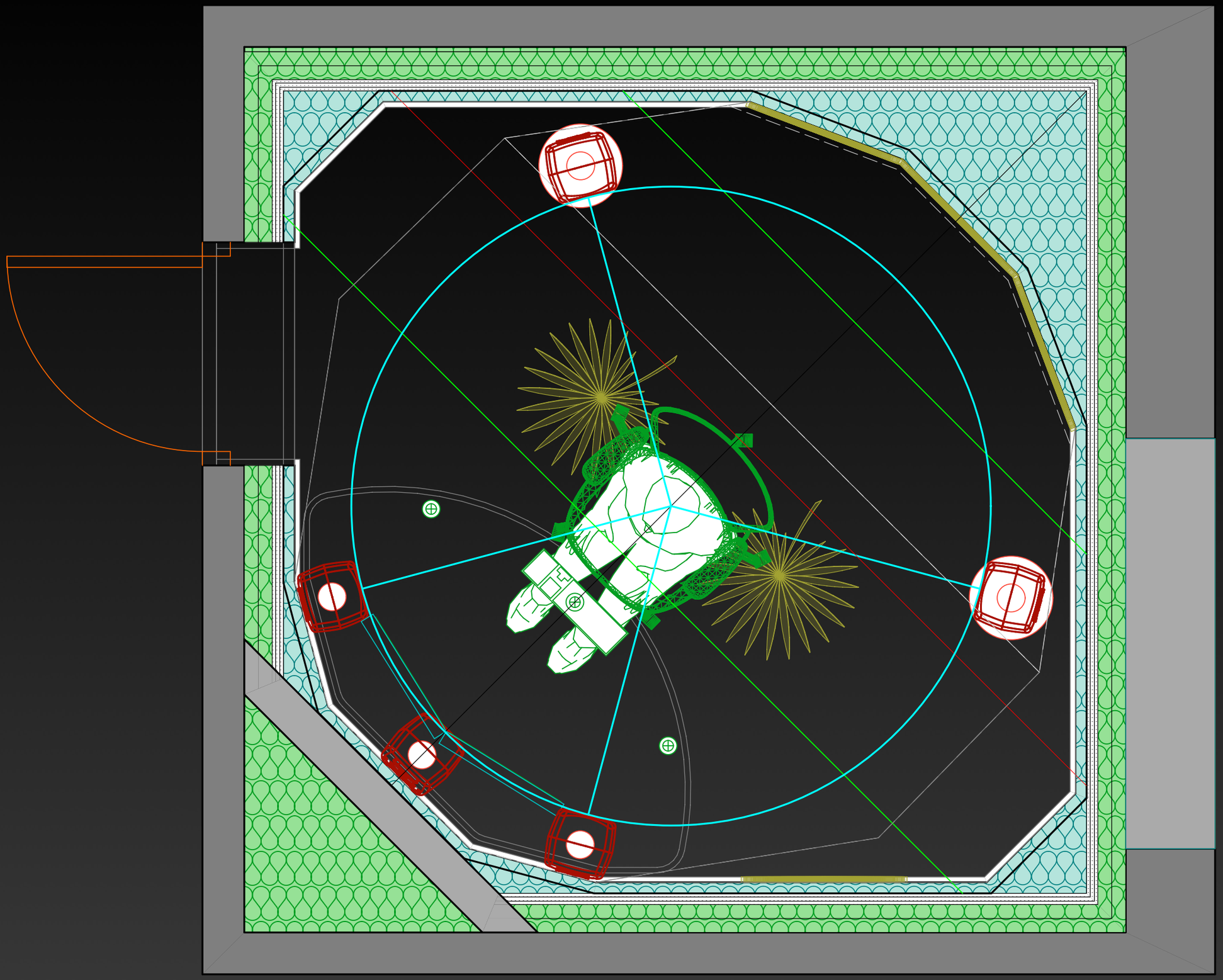
ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

beep! Studios - sala Garage @ Roma

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

beep! Studios - sala Gorilla @ Roma

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM



beep! Studios - sala Gorilla @ Roma

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

beep! Studios - sala Gorilla @ Roma

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Jinglebell Communications @ Milano

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

In House @ Roma

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

In House @ Roma

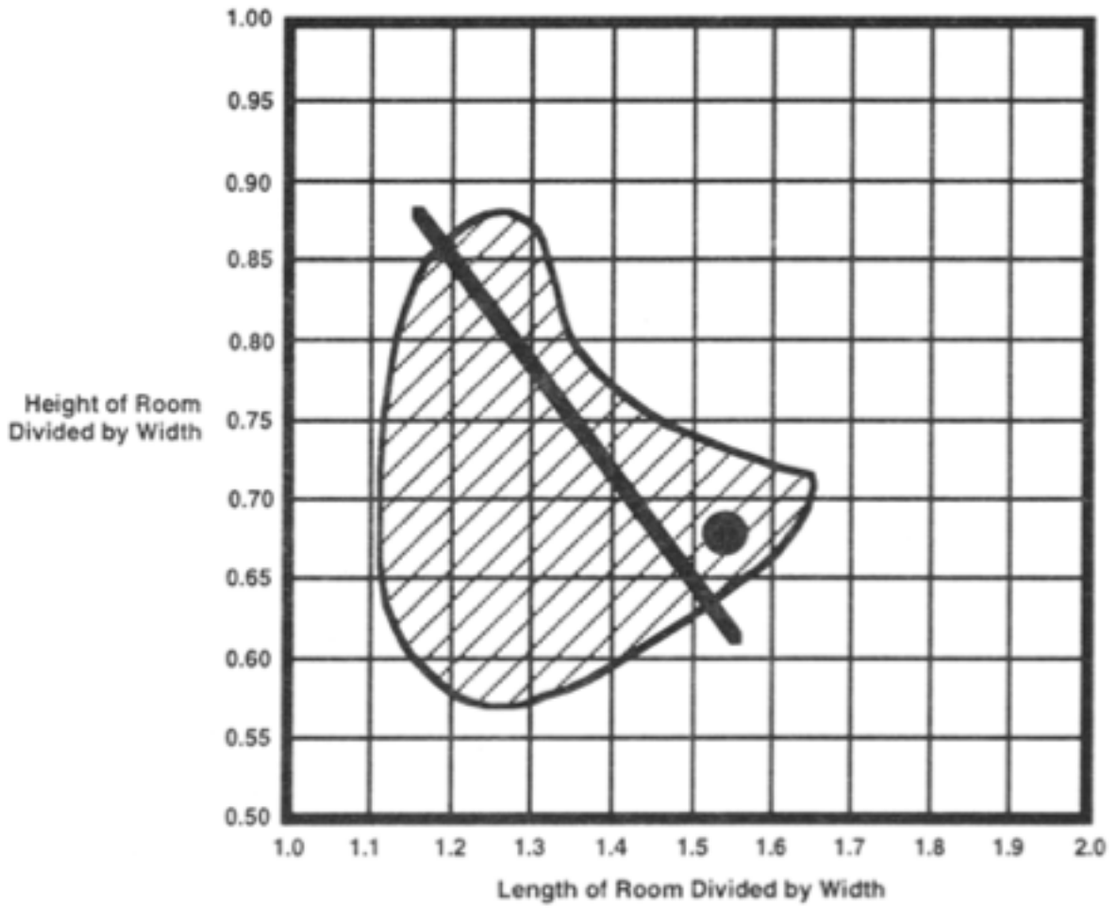
ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Specifiche Dolby®

1. angolo speakers LR 45° ± 5°
2. posizione di mix a 2/3 della lunghezza della sala
3. pianta della sala > 45 m^2
4. volume della sala > 150 m^3
5. schermo distante almeno a 5 m dal mixer

6. le proporzioni ideali sono quelle dell'area tratteggiata, più vicine possibile alla linea ideale

(si accettano delle lievi deviazioni da questi requisiti se dal loro punto di vista le proporzioni della sala e l'equipaggiamento sono comunque adeguati)



Specifiche Dolby®

4.5. The acoustics of the mixing room must conform to the acoustic characteristics shown below in Figure 1. Ambient noise levels must not exceed NC-25 as measured according to ISO 9568 *Background acoustic noise levels in theatres, review rooms and dubbing rooms*.

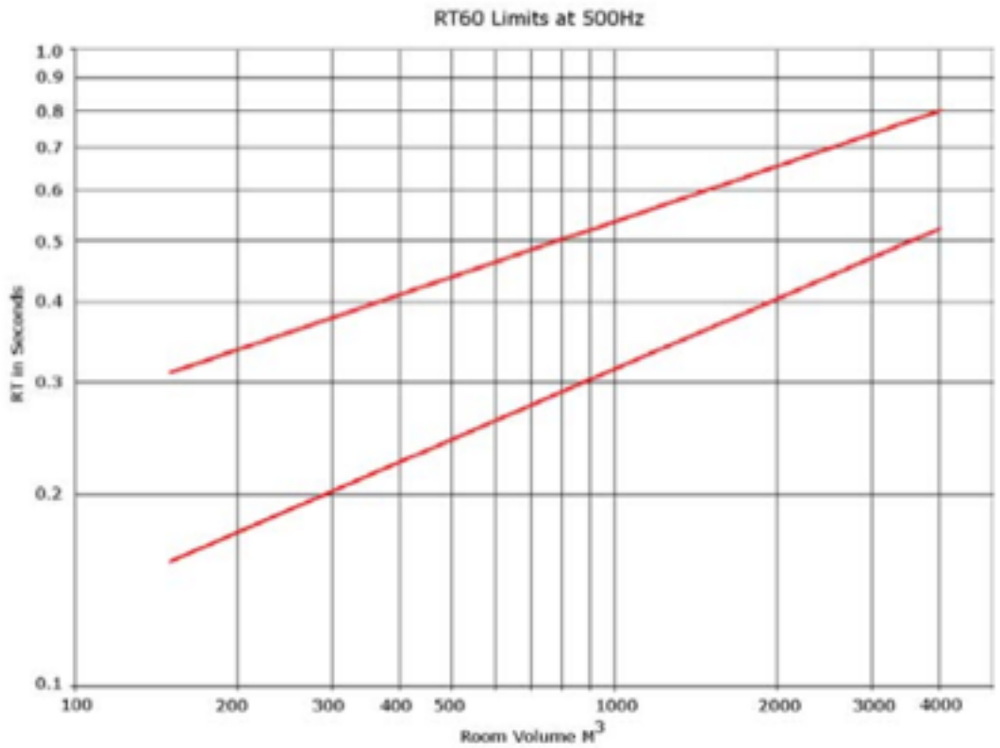


Figure 1 *Reverberation Time*

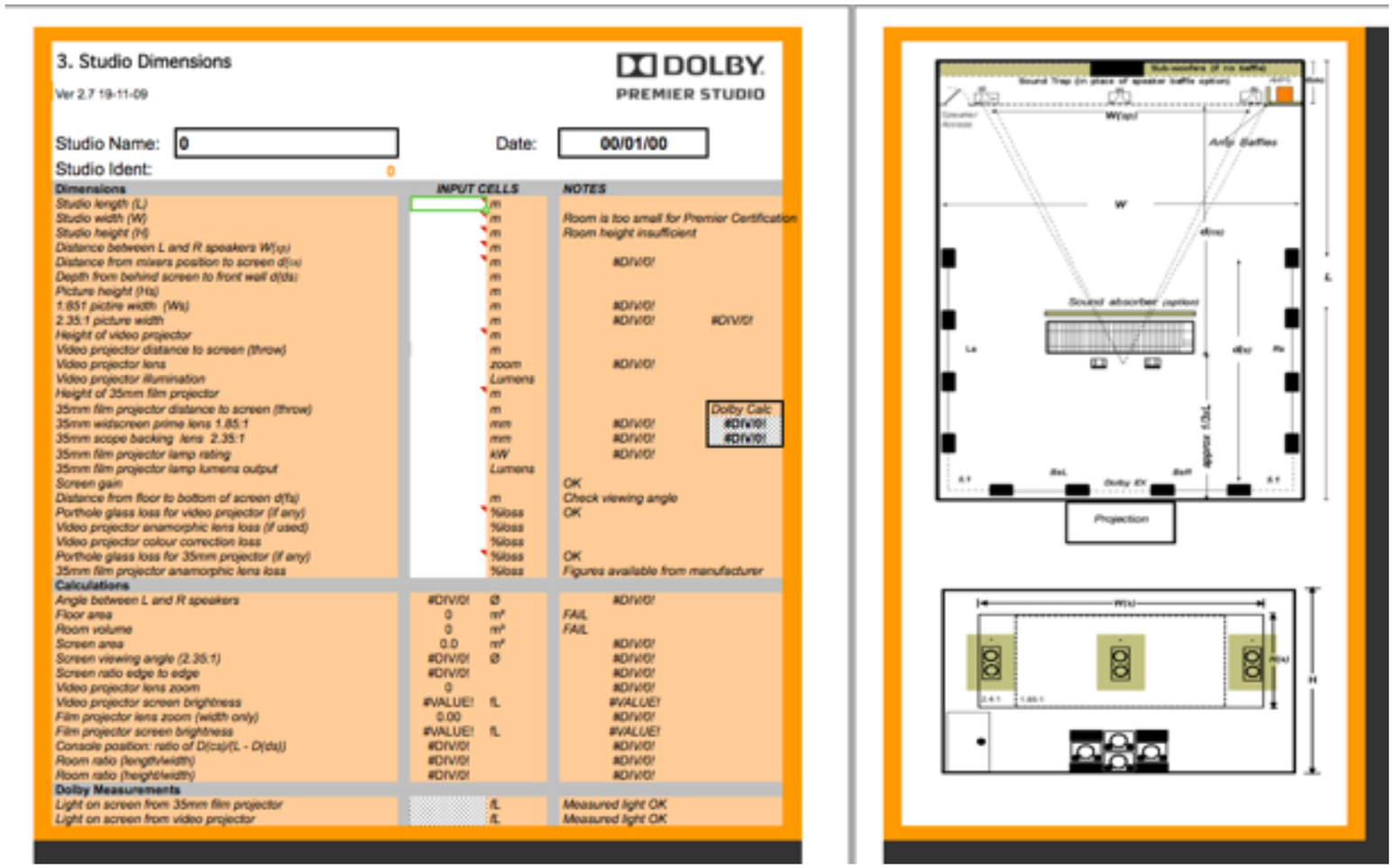
7. Il tempo di riverberazione @ 500 Hz segue questo grafico relativo al volume della sala.
Il tempo di riverberazione deve diminuire in frequenza.

Specifiche Dolby®

8. Il livello del rumore di fondo dev'essere inferiore a NC-25

… molte altre specifiche elettroacustiche e video …

(file Excel)



3. Studio Dimensions

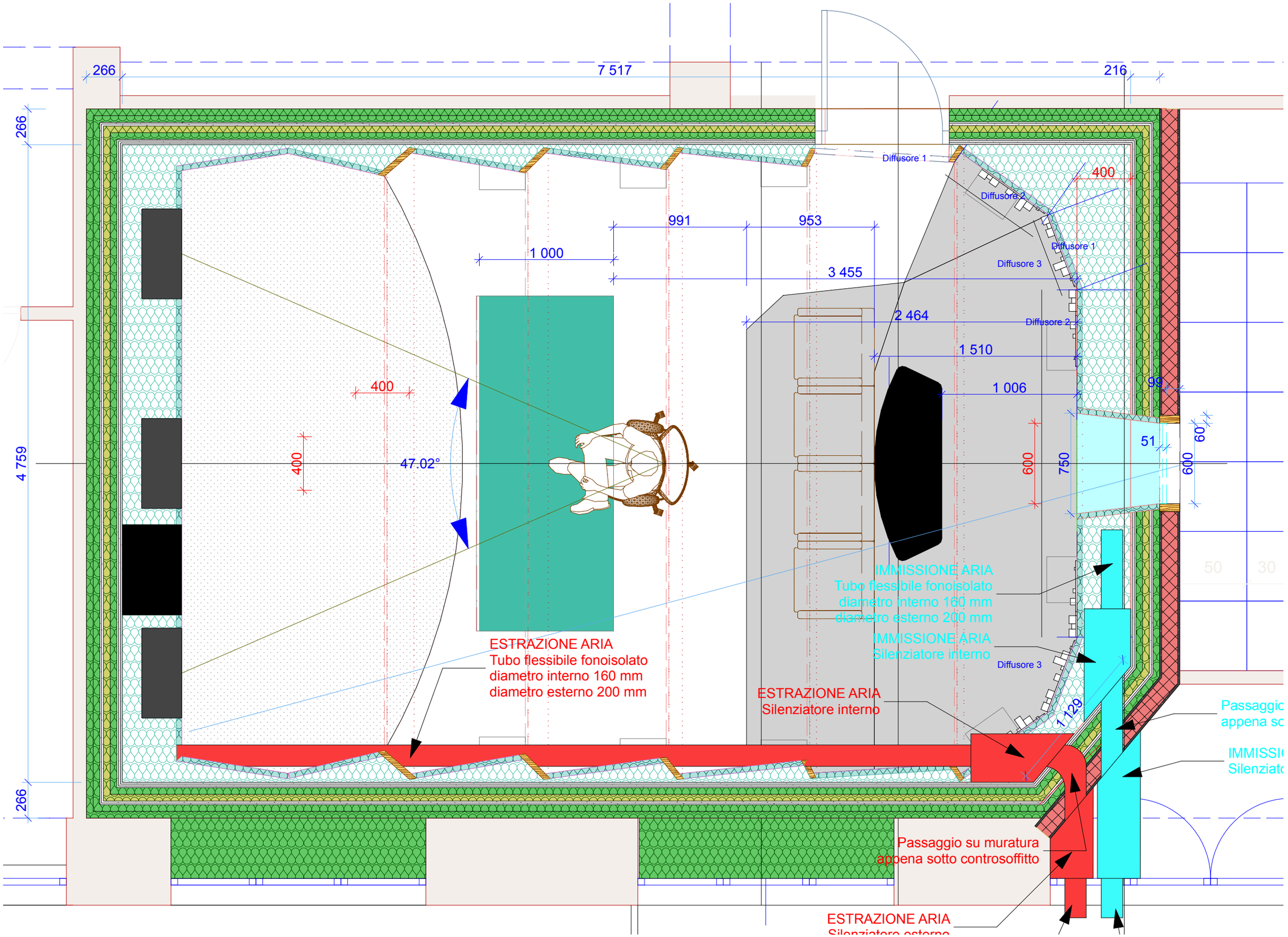
Ver 2.7 19-11-09

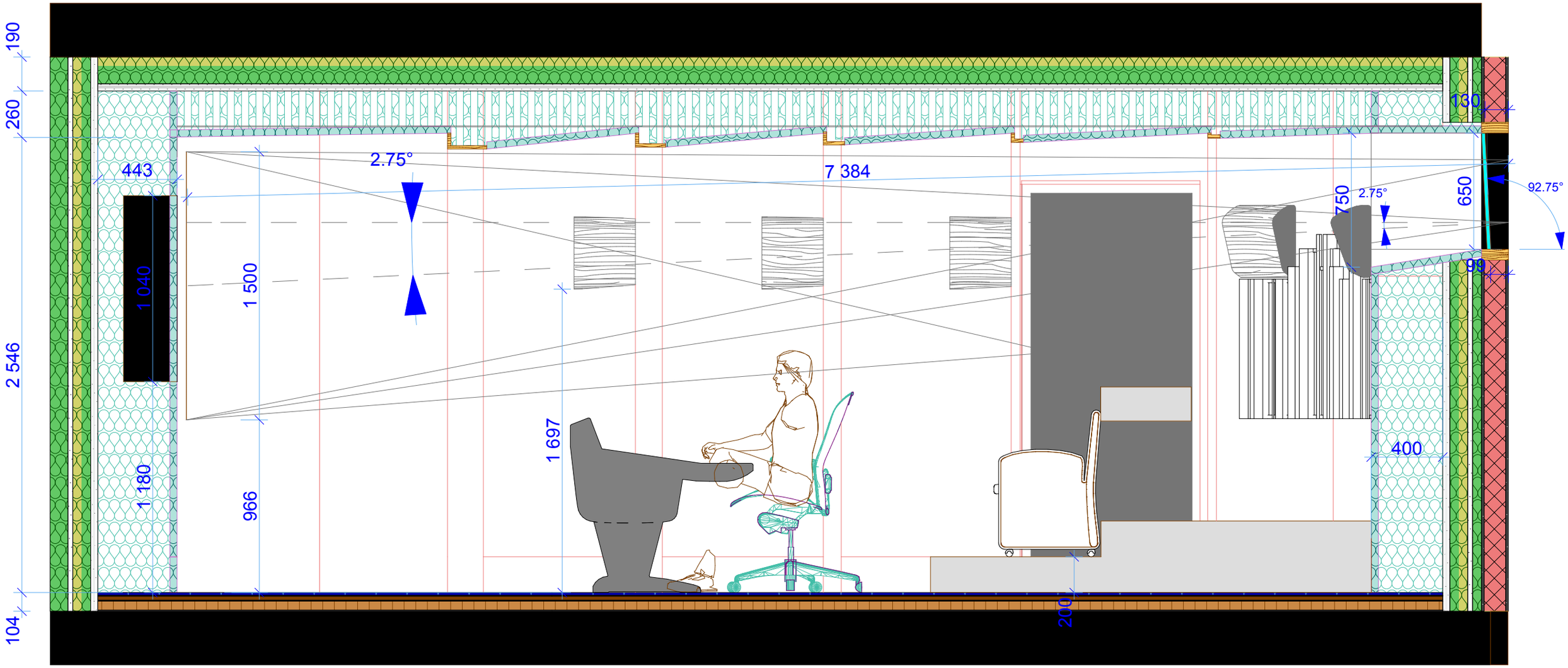
DOLBY PREMIER STUDIO

Studio Name: 0 Date: 00/01/00

Studio Ident: 0

Dimensions	INPUT CELLS		NOTES	
Studio length (L)		m		
Studio width (W)		m	Room is too small for Premier Certification	
Studio height (H)		m	Room height insufficient	
Distance between L and R speakers W(sp)		m		
Distance from mixers position to screen d(ss)		m	#DIV/0!	
Depth from behind screen to front wall d(ds)		m		
Picture height (Hs)		m		
1.851 picture width (Ws)		m	#DIV/0!	
2.35:1 picture width		m	#DIV/0!	#DIV/0!
Height of video projector		m		
Video projector distance to screen (throw)		m		
Video projector lens		zoom	#DIV/0!	
Video projector illumination		Lumens		
Height of 35mm film projector		m		
35mm film projector distance to screen (throw)		m		Dolby Calc
35mm widscreen prime lens 1.85:1		mm	#DIV/0!	#DIV/0!
35mm scope backing lens 2.35:1		mm	#DIV/0!	#DIV/0!
35mm film projector lamp rating		kW	#DIV/0!	
35mm film projector lamp lumens output		Lumens		
Screen gain			OK	
Distance from floor to bottom of screen d(fs)		m	Check viewing angle	
Porthole glass loss for video projector (if any)		%loss	OK	
Video projector anamorphic lens loss (if used)		%loss		
Video projector colour correction loss		%loss		
Porthole glass loss for 35mm projector (if any)		%loss	OK	
35mm film projector anamorphic lens loss		%loss	Figures available from manufacturer	
Calculations				
Angle between L and R speakers	#DIV/0!	Ø	#DIV/0!	
Floor area	0	m²	FAIL	
Room volume	0	m³	FAIL	
Screen area	0.0	m²	#DIV/0!	
Screen viewing angle (2.35:1)	#DIV/0!	Ø	#DIV/0!	
Screen ratio edge to edge	#DIV/0!		#DIV/0!	
Video projector lens zoom	0		#DIV/0!	
Video projector screen brightness	#VALUE!	fL	#VALUE!	
Film projector lens zoom (width only)	0.00		#DIV/0!	
Film projector screen brightness	#VALUE!	fL	#VALUE!	
Console position: ratio of D(cs)/(L - D(ds))	#DIV/0!		#DIV/0!	
Room ratio (length/width)	#DIV/0!		#DIV/0!	
Room ratio (height/width)	#DIV/0!		#DIV/0!	
Dolby Measurements				
Light on screen from 35mm film projector		fL	Measured light OK	
Light on screen from video projector		fL	Measured light OK	


266
7 517
216
266
Diffusore 1
400
Diffusore 2
991
953
Diffusore 1
1 000
Diffusore 3
3 455
2 464
Diffusore 2
1 510
1 006
99
400
400
47.02°
4 759
600
750
51
60
600
50
30
IMMISSIONE ARIA
Tubo flessibile fonoisolato
diametro interno 160 mm
diametro esterno 200 mm
IMMISSIONE ARIA
Silenziatore interno
Diffusore 3
ESTRAZIONE ARIA
Tubo flessibile fonoisolato
diametro interno 160 mm
diametro esterno 200 mm
ESTRAZIONE ARIA
Silenziatore interno
1729
Passaggio
appena so
IMMISSI
Silenziato
266
Passaggio su muratura
appena sotto controsoffitto
ESTRAZIONE ARIA


190
260
2 546
104
443
1 040
1 180
2.75°
1 500
966
7 384
1 697
130
650
92.75°
750
2.75°
99
400
200

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Bagnoli Bros Studio @ Castelnovo ne’ monti (RE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Binary Amplitude Diffuser
BadSSS

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Binary Amplitude Diffuser
BadSSS

Ronny Aglietti Studio @ Monte San Savino (AR)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Studio Volta @ Montemurlo (PO)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Officina Sonora del Bigallo @ Bagno a Ripoli (FI)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Officina Sonora del Bigallo @ Bagno a Ripoli (FI)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU) nominated for Best Audio Facility 2013 Resolution

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

House of Glass (Gianni Bini) @ Viareggio (LU)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Sudestudio @ Guagnano (LE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Sudestudio @ Guagnano (LE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

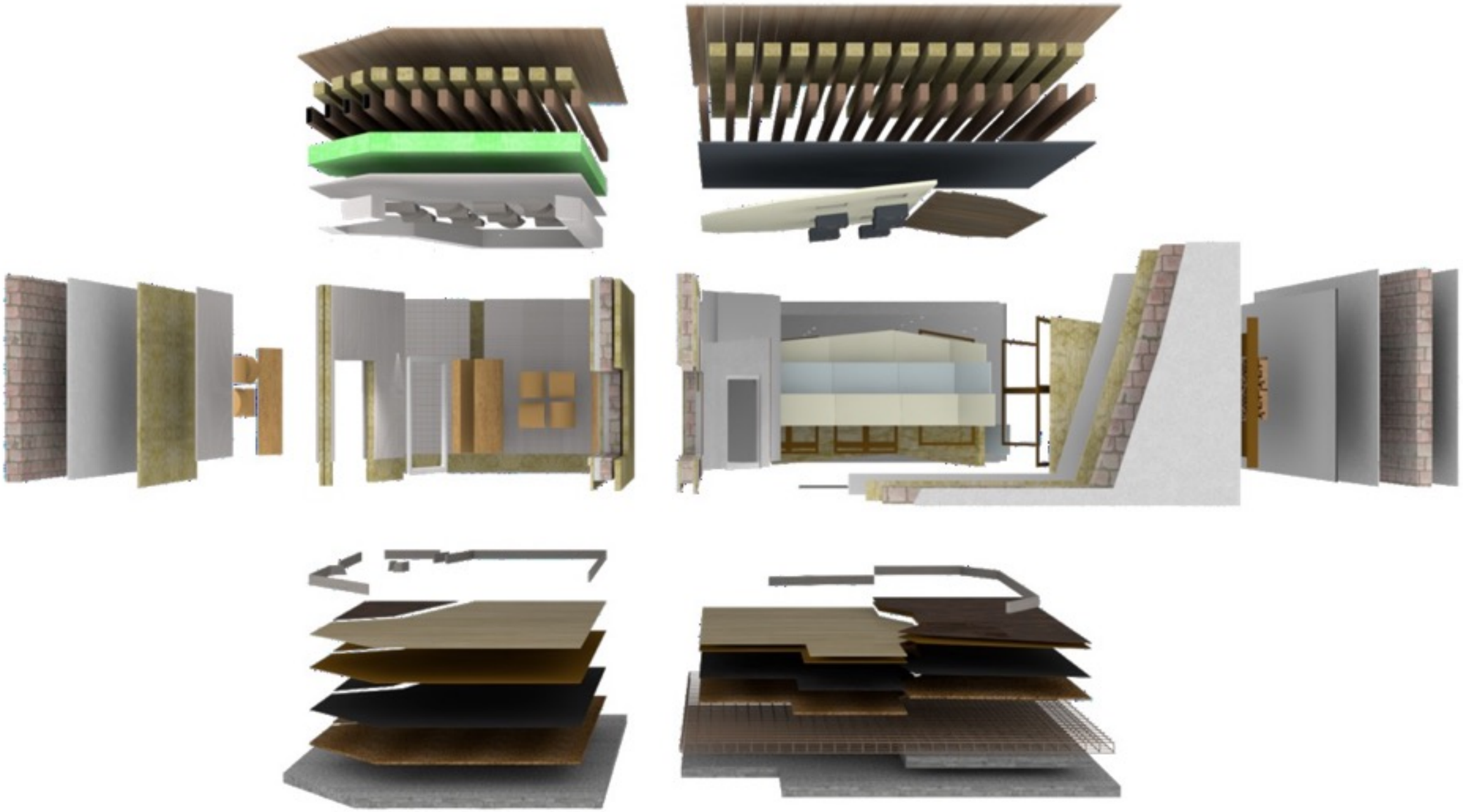
Sudestudio @ Guagnano (LE)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

PPG Studios (Guerrini - Bocelli) @ S. Pietro Belvedere (PI)

Cambusa Wave @ Reggio Emilia

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM



Cambusa Wave @ Reggio Emilia

Dunastudio @ Russi (RA)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Audacia Records @ Avezzano (AQ)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

International Sound @ Conversano (BA)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

International Sound @ Conversano (BA)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

International Sound @ Conversano (BA)

ACOUSTIC DESIGN BY DONATO MASCI – WWW.STUDIOSOUNDSERVICE.COM

Grazie.

dott. Donato Masci
donatomasci@gmail.com

Scarica la presentazione:
www.studiosoundservice.com/didattica-eventi/

Bibliografia

- D. Masci, A. V. Mäkivirta, “Small multichannel control rooms for broadcast”, Resolution sup. “Small room acoustics” 2015/04;
- D. Masci, “Myths and facts about studio acoustics - part I, Auto-Calibration”, Resolution, 2014/03;
- D. Masci, “Myths and facts about studio acoustics - part II, Monitors in a room”, Resolution, 2014/04;
- D. Masci, “Myths and facts about studio acoustics - part III”, Resolution, 2014/05;
- D. Masci: “Parametri Fisici dell’Acustica Ambientale” thesis in Physics;
- F. A. Everest, K.C. Pohlmann, Master Handbook of Acoustics Fifth Edition, 2009 The McGraw-Hill Companies, Inc.;
- L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, Fundamentals of Acoustics – 4th ed, New York, John Wiley and Sons.
- Y. Ando, Architectural Acoustics, Springer-Verlag New-York Inc., 1998;
- T.J. Cox, P. D’Antonio: “Acoustic Absorbers and Diffusers - Theory, design and application” 2nd ed.;
- P. Newell, Recording Studio Design, 3rd edition, Focal Press, 2013;
- I. Martikainen, N. Zacharov, Studio monitor midrange and high frequency performance, Genelec OY, 1997;
- A. V. Mäkivirta, C. Anet, A Survey Study Of In-Situ Stereo And Multi-Channel Monitoring Conditions, AES Convention Paper, 111th Convention 2001 September 21–24 New York, NY, USA;
- Roger d’Arcy, Hugh Flynn, “RA: The Book, The Recording Architecture Book of Studio Design”, Black Box Limited, London, 2011.
- A. Watson, “Cultural Production in and Beyond the Recording Studio”, NY, Routledge Studies in Human Geography, 2015.
- C. Small, “Musicking: The Meanings of Performing and Listening”, London, Wesleyan University Press, 1998.